Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden korkeakoulu

Lari Tuominen

Tietomallintamisen hyödyntäminen infrahankkeiden riskienhallinnassa

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 12.2.2018
Valvoja: Professori Olli Seppänen
Ohjaajat: DI Tarmo Savolainen, DI Outi Lehti

Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden korkeakoulu

Aalto-yliopisto, PL 11000, 00076 AALTO
www.aalto.fi

Diplomityön tiivistelmä

Tekijä Lari Tuominen

Työn nimi Tietomallintamisen hyödyntäminen infrahankkeiden riskienhallinnassa

Koulutusohjelma Master's Programme in Real Estate Economics

Pää-/sivuaine Real Estate Economics **Koodi** ENG24

Työn valvoja Professori Olli Seppänen

Työn ohjaaja(t) DI Tarmo Savolainen, DI Outi Lehti

Päivämäärä 12.2.2018 **Sivumäärä** 82 + 6 **Kieli** Suomi

Tiivistelmä

Riskienhallinnan integroiminen osaksi projektin eri vaiheita voidaan nähdä edellytyksenä ammattitaitoiselle projektin hoidolle. Valitettavan usein on luettavissa uutisia puutteellisesta riskienhallinnasta koskien rakennushankkeiden epäonnistumisia, milloin kustannusylitysten, aikataulun tai työturvallisuuden osalta. Uusien toimintatapojen ja menetelmien voidaan nähdä olevan hankkeiden riskienhallinnalle välttämättömiä, jotta voidaan minimoida mahdolliset riskit.

Tietomalli projektin keskeisenä työkaluna on juuri oikea suunta kehittää hankkeen riskienhallintaa, koska siten tietoa riskeistä voidaan jakaa mahdollisimman laajalti. Tietomallintamisesta on puhuttu suunnittelun alalla jo pitkään, mutta sen aito kehittyminen monipuoliseksi käytännön työkaluksi on ollut varsin hidasta. Kukaan ei ole voinut ennalta tietää kaikkea sitä, mihin tietomallia tänä päivänä hyödynnetään.

Diplomityön tavoitteina oli tutkia, miten tietomalleja voitaisiin hyödyntää väylähankkeiden riskienhallinnassa ja millaisia hyötyjä tämä voisi riskienhallinnalle antaa. Myös mahdollisten haasteiden tutkiminen ja tiedonsiirron nimikkeistön luonnostelu olivat tutkimuksen tavoitteina. Tutkimus synnytti paljon uusia tutkimusaiheita, joiden löytäminen muuten olisi voinut olla lähes mahdotonta.

Tämä diplomityö on laadullinen tutkimus, jossa pyritään tuottamaan uutta tietoa tutkittavasta aiheesta ja selkeyttämään vielä varsin vierasta aihetta infrasuunnittelun alueella. Tutkimus koostuu kahdesta vaiheesta, joista ensimmäisenä on kirjallisuusselvitys ja toisena empiirinen tutkimus. Kirjallisuusselvityksessä pyritään tuomaan kaikki tutkimuskysymyksiä sivuavat aihepiirit esiin perustellen tällä samalla aiheen kansainvälisesti varsin vähäinen aiempi tutkimus. Empiirinen aineisto koostuu puolistrukturoiduista haastatteluista, lomaketutkimuksesta ja pilotoinnista.

E18 Kausela–Kirismäki pilotoinnin seurauksena saatiin tutkittua työssä ehdotettua ratkaisua riskitiedon liittämiseksi tietomalliin ja siihen liittyviä kysymyksiä. Suunnitteluohjelmistojen tekniset rajoitteet ja mahdollisuudet kartoitettiin ohjelmistolaajennusta koskien, joka voitiin nähdä välttämättömänä osana tiedon siirtämiseksi tietokannoista tietomalliin.

Riskien tietomallintamisen laajempaan hyödyntämiseen tarvitaan ehdottomasti alalle luotu yhtenäinen nimikkeistö, jotta riskienhallinnan tieto saataisiin kulkemaan tietomalleissa eri hankevaiheiden välillä. Riskienhallinnalle toimivia apukeinoja voidaan löytää myös kevyemmillä ratkaisuilla, joissa tukeudutaan vain tarkemman sijaintitiedon luomiseen ja visuaalisten keinojen painottamiseen riskien havainnollistamiseksi tietomallista.

Avainsanat infrahanke, riski, riskienhallinta, tietomallintaminen, BIM

Aalto University
School of Engineering

Aalto University, P.O. BOX 11000, 00076 AALTO
www.aalto.fi

Abstract of master's thesis

Author Lari Tuominen

Title of thesis Utilizing BIM-modelling for Risk Management in Infrastructure Projects

Degree programme Master's Programme in Real Estate Economics

Major/minor Real Estate Economics **Code** ENG24

Thesis supervisor Professor Olli Seppänen

Thesis advisor(s) M.Sc. (Tech.) Tarmo Savolainen, M.Sc. (Tech.) Outi Lehti

Date 12.2.2018 **Number of pages** 82 + 6 **Language** Finnish

Abstract

Integrating risk management into the various phases of projects can be desirable when having to read almost weekly news of the failures in construction projects, due to cost, schedule or safety overruns. For risk management, new tools and methodologies can be considered necessary to achieve better end results in projects.

Data models used as key tools in projects are just the right way to develop risk management in order to distribute knowledge of risks as widely as possible. Data modelling has been talked about in the design sector for decades, but its real development into a versatile tool has been quite slow. No one has been able to foresee all the targets that are being exploited today.

The objectives of the thesis were to explore how data models could be utilized in the risk management in infrastructure projects and what benefits could be achieved in risk mitigation. Examination of potential challenges and the drafting of the data transfer infra classification system were also targets of the study. This study created a lot of new research topics, which could otherwise have been almost impossible to find.

The thesis is a qualitative study that aims at the generation of new information on the subject and to clarify a still foreign topic on the infra-design field. The study consists of two phases, the first of which is a literature study and the second one an empiric study. The literature study seeks to highlight all the research topics justifying at the same time the insignificant previous research internationally. Empiric data consists of semi-structured interviews, form research and a piloting project.

As a result of E18 Kausela–Kirismäki piloting project, the proposed solution was examined to integrate risk data and related issues into the data model. The technical limitations and possibilities of the design software were listed for a software extension that could be a necessary part to transfer data from databases to the data model.

To a broader use of risk data modelling it is essential to create a uniform infra classification system for the sector, so that the information on risk management can be run in data models between project phases. Risk management support can also be found in lighter solutions that rely only on a more precise location data to create information, and to focus on visual means to illustrate the risks in the data model.

Keywords infrastructure project, risk, risk management, BIM

Alkusanat

Työ tehtiin Ramboll CM Oy:n palveluksessa Liikenneviraston tilauksesta. Vanhin maininta tietomallien hyödyntämiseksi infrahankkeiden riskienhallinnassa Suomessa löytyi haastatteluiden pohjalta vuoden 2015 tienoolta. Asia on siis varsin tuore. Tällöin Marion Schenkwein (VR-Track) oli ensin kollegoidensa kanssa keskustellut asiasta ja myöhemmin bSF:n kokouksessa heittänyt ajatuksen ilmoille tietomallien hyödyntämiseksi. Idea oli saanut positiivista kannatusta ja tästä jatkona he olivat yhdessä Joona Malmivaaran kanssa laatineet sisäisesti pienen ohjeen silloin syntyneiden ajatusten pohjalta. Tämän jälkeen aiheesta ei löydy mitään kirjallista päivitystä Suomen infrakentältä ennen tätä tutkimusta. Tämä tutkimus vastaa tilaajien puolelta syntyneeseen kysyntään määritellä ja avata asiaa alan toimijoille.

Haluan kiittää Liikennevirastoa työn tilaamisesta, sekä heidän edustajiensa Tarmo Savolaisen, Arja Toolan ja Jaana Kalliolaakson panoksesta ohjausryhmässä. Kiitos kuuluu työn ohjaajalle esimiehelleni Outi Lehdelle. Myös professori Olli Seppänen antoi todella tärkeitä ohjeita ja palautetta tästä työstä minulle, kiitos! Hänen akateeminen näkemyksensä oli erittäin tärkeä tutkimuksen loppuun saattamisessa. Rambollin tietomallintamisen kehityspäällikkö Tiina Perttulan apu ja kontaktit olivat korvaamattomia. Työkaverini Oliver Heinosen virkistävät vinkit ja tuki toimistolla Espoossa olivat koko syksyn 2017 ajan voimaannuttavia. En mainitse erikseen kaikkia haastateltuja henkilöitä nimeltä, mutta ilman heitä ei työni olisi saanut perspektiiviä käytännön näkökulmasta. Kiitos heidän taustaorganisaatioilleen: Finnmap Infra, Sito, VR Track ja Varsinais-Suomen ELY-keskus. Näistä erityiskiitos ensimmäiseksi ja viimeiseksi mainitulle, ilman E18 Kausela–Kirismäki pilottikohdetta ei tällä tutkimuksella olisi sitä olennaista ”pihviä”, joka tuki täydellisesti kokoluokassaan ja Markku Pienimäen kehityshengessä tutkimuksen tarpeita.

Diplomityö on vaatinut isoja ponnistuksia ja valvottuja öitä saavuttaakseen lopullisen muotonsa. Tavoiteltava lopputulos on ollut koko työn ajan kirkkaana horisontissa, mutta akateemisen taustoittamisen suhteen aina viime metreille tietomallintamisen, riskienhallinnan ja visuaalisten keinojen välillä on tasapainoiltu. Työn lopulliseen muotoon olen erittäin tyytyväinen ja se ei myöskään - toivottavasti - tule jäämään hyllyihin pölyttymään, vaan vastaa infra-alalla kaivattuihin kysymyksiin ja tarjoaa ”kättä pidempää” tilaajille ja suunnittelutoimistoille. Vaativasta työstä ei olisi voinut selviytyä ilman aivan kaikkien siihen osaa ottaneiden kontribuutiota, kiitos!

Espoossa 12.2.2018

Lari Tuominen

Sisällysluettelo

Lyhenteet

3D suunnittelu	Kolmiulotteisesti tapahtuvaa suunnittelua
4D	3D-malli, johon yhdistettynä aikatauluinformaatio
5D	4D-malli, johon yhdistettynä kustannusinformaatio
API	Application Programming Interface (ohjelmointirajapinta), jossa määritellään miten ohjelmisto tarjoaa tietoa tai palveluita muille sovelluksille tai järjestelmille.
Attribuutti	Objektin ominaisuustieto
AEC	Architecture, Engineering and Construction (Arkkitehtuuri, suunnittelu ja rakentaminen)
BIM	Building Information Model
bSF	buildingSMART Finland
bSF Infra	buildingSMART Finland Infra
CBR	Case-Based Reasoning. Menetelmässä hyödynnetään aikaisempaa tietoa, jolla aiemmat ongelmat on ratkaistu. Toimintatapa on ihmiselle hyvin luonnollinen ongelmanratkaisumenetelmä. (Kolodner 1991, s. 52-68.)
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
IFC	Industry Foundation Classes
ISO	International Organization for Standardization
Inframalli	Infrarakenteen tuotemalli. Yhteisesti sovitun inframallin tietomäärittelyn tietyn infrarakenteen ilmentymä. (YIV 2015a, s. 6.)
Inframodel	Kansainväliseen LandXML-standardiin perustuva avoin tiedonsiirtomenetelmä.
Jäännösriski	Riski, jota ei voi tai ei ole kannattavaa poistaa kokonaan.
Natiivimalli	Mallinnusohjelmiston oma tiedostomuoto, johon malli on tallennettu.
PAS	Publicly Available Specifications

RBS	Risk Breakdown Structure. Menetelmässä hankkeen riskit ja näiden lähteet järjestellään hierarkkisesti. Hierarkiassa on eri tasoja aina niin pitkälle kuin on tarpeellista. Hyötyinä hajanaistenkin riskien kohdentaminen ja useiden riskien tarkasteleminen samanaikaisesti koko hankkeen kannalta. (Hillson 2003, s. 85-97.)
Riski	Ennalta arvaamaton negatiivinen tai positiivinen tilanne tai tapahtuma, joka estää tai haittaa päämäärien, prosessin tai toiminnon tavoitteiden toteutumista tai tarjoaa uusia mahdollisuuksia niiden saavuttamiseksi. Riskillä on suuruus, joka määritetään riskin todennäköisyyden ja seurausten vakavuuden perusteella. (Liikennevirasto 2015a.)
Riskienhallintasuunnitelma	Dokumentti, jossa on kuvattu tunnistetut riskit, niiden seuraukset, todennäköisyydet, seurausten vakavuudet, toimenpiteet ja vastuuhenkilöt. (Liikennevirasto 2017a.)
Riskimatriisi	Taulukko, jossa vaaran arvioidun todennäköisyyden ja seurausten vakavuuden yhdistelmä auttaa luokittelemaan organisaatioon kohdistuvia riskejä merkittävyyden mukaiseen järjestykseen (Trafi 2015, s. 18).
Riskiraportti	Tiivis kirjallinen yhteenveto riskienarvioinnin toteutuksesta. Lisäksi siinä voidaan esittää tiedot keskeisistä riskeistä ja niiden edellyttämistä toimenpiteistä sekä keskeisistä johtopäätöksistä. ... Riskiraportin liitteenä on yleensä riskienhallintasuunnitelma. (Liikennevirasto 2015a, s. 6.)
Riskitieto	Tunnistettuun riskiin liittyvä informaatio.
Tietomalli	Digitaalisessa muodossa olevan rakennelman esittäminen kolmiulotteisesti ominaisuustietoineen.
TURI	Liikenneviraston kehittämä turvallisuuspoikkeamien ja riskienhallinnan tietojärjestelmä.
Vaara	Tekijä tai olosuhde, joka voi saada aikaan haitallisen tapahtuman (Liikennevirasto 2015a, s. 7).
VR	Virtual reality (virtuaalitodellisuus)
YTV	Yleiset tietomallivaatimukset
YIV	Yleiset inframallivaatimukset

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Riskienhallinnasta on tullut koko ajan keskeisempi osa rakennushankkeiden johtamista, toteuttamista ja turvallisuutta. Tästäkin huolimatta saamme edelleen lukea lehdistä epäonnistuneista projekteista, joko aikataulun, budjetin tai onnettomuuksien osalta.

”Budjetti ylittyy alkuperäisestä hankesuunnitelmasta 20 miljoonalla eurolla eli noin 80 prosentilla. (Turun kaupunginteatteri)” (Turun Sanomat 18.8.2017)

”Aikataulun seuranta ei rakentamisen loppuvaiheessa (Länsimetro) ole ollut riittävää, aikatauluriskien toteutumista ei ole tunnistettu ja käyttöönottoa edeltävän vaiheen laajuus ei ole ollut tiedossa.” (Ernst & Young Oy 4.10.2017)

”Tänä vuonna jo kaksi ilmajohtoihin liittyvää sähköiskukuolemaa.” (Rakennuslehti 19.9.2017)

”Vasta rakennettu katto romahti alas Stockmannin työmaalla Espoossa – työmies suojautui kottikärryjen alle.” (Helsingin Sanomat 25.1.2017)

Varsinkin työturvallisuus on monessa yrityksessä nostettu tärkeimmäksi asiaksi ja tavoitteeksi on otettu kaikkien henkilövahinkojen välttäminen työmaalla. Tästä huolimatta vielä vuonna 2014 tapahtui rakennusalalla lähes 5900 vähintään neljän päivän työkyvyttömyyteen johtanutta työtapaturmaa. Kymmenen vuotta aikaisemmin määrä oli vielä 47% suurempi, joten kehityssuunta on ollut erittäin positiivinen. (Tapaturmavakuutuskeskus 2015.)

Tietomallintamisessa on viime vuosina otettu mukaan vähitellen uusia ulottuvuuksia, kuten aika (4D) ja kustannukset (5D) (Kamardeen 2010). Myös tietomallin hyödyntäminen esimerkiksi törmäystarkastelussa ja visuaalisena työkaluna työmaan turvallisuusriskien huomioimiseksi on yleistynyt. Riskitiedon liittäminen osaksi muuta informaatiota tietomallissa on kuitenkin jäänyt vähälle huomiolle. Mikäli riskienhallinta liitettäisiin osaksi tietomallia, niin näin voitaisiin korostaa entisestään riskienhallinnan roolia ja parantaa riskien huomioimista. Tällä todennäköisesti edesautettaisiin myös riskitiedon säilymistä ja siirtymistä eri hankevaiheiden välillä. Perinteinen riskienhallinnan toteuttaminen pohjautuu edelleen pitkälti asiantuntijoiden kokemuksiin ja muihin pitkään käytössä olleisiin menetelmiin, joten uudet työkalut ovat tervetulleita. Tietomallintaminen olisi uusi työkalu riskienhallinnassa, mutta juurtuneet toimintatavat ovat haaste tälle (T5, H1, H4).

Liikennevirasto ja ELY-keskus ovat muutamissakin tarjouspyynnöissään ehdottaneet ja osassa vaatineet riskien tietomallintamista vuoden 2017 aikana (Schenkwein 2017). Se miten tämä pitäisi hankkeissa toteuttaa on jäänyt näissä tarjouspyynnöissä avoimeksi, koska alalta löytyvä kokemus on vähäistä ja täsmällistä tutkittua tietoa ei löydy. Kaupallisia sovelluksia suunnitteluohjelmistoihin riskien tietomallintamiseksi ei vielä löydy, mikä johtuu vasta kehittyvillä olevasta kysynnästä. Tietomallintaminen infrahankkeissa on pitkälti lähtenyt Liikenneviraston aloitteesta, joten riskienhallinnankaan kehittäminen tilaajalähtöisesti ei ole ennenkuulumaton toimintatapa.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Diplomityön tavoitteena on etsiä ratkaisuja infrahankkeissa tunnistettujen riskitietojen tietomallintamiseen ja kartoittaa tähän liittyvää kansainvälistä tutkimusta. Työn tavoitteena on tarkastella voisiko tietomallipohjainen toimintatapa olla eräs keino riskitiedon parempaan jakamiseen hankkeen osapuolien välillä ja siirtymisessä hankevaiheesta toiseen. Tiedonsiirtämiseksi tarvitaan yhteisesti sovittu nimikkeistö ja tässä tutkimuksessa luodaan ehdotus nimikkeistölle sekä sen jatkokehittämiselle.

Edellä mainittujen tavoitteiden saavuttamiseksi työssä etsitään vastausta neljään toisiinsa liittyvään kysymykseen, jotka ovat seuraavia:

1. Pitäisikö hankkeissa tunnistettuja riskejä kuvata tietomalleissa?
2. Mitä hyötyjä riskien tietomallintaminen voisi antaa riskienhallinnalle?
3. Mitä mahdollisia esteitä käytännön toteutukselle on?
4. Minkälainen nimikkeistö riskienhallinnan tiedolle pitäisi luoda tiedon siirtämiseksi?

Kolmeen ensimmäiseen tutkimuskysymykseen on tavoitteena löytää vastaukset haastatteluiden, lomakekyselyn ja pilotoinnin kautta. Pilottihankkeen tuloksista on tavoitteena saada käytännön päätelmiä siitä, miten tietomallintamista voisi alkaa hyödyntämään riskienhallinnan tukena. Pilotoinnin valmistuttua siihen osallistuneet asiantuntijat haastatellaan ryhmähaastattelun keinoin. Viimeistä tutkimuskysymystä lähestytään kartoittamalla riskienhallinnassa keskeisimpiä käytettyjä termejä, joiden pohjalta luonnostellaan attribuutti-muodossa tiedonsiirron ehdotelma nimikkeistöstä.

1.3 Tutkimuksen oletukset ja rajaukset

Työssä tutkitaan tietomallinnuksen hyödyntämistä riskienhallinnassa tunnistettujen riskien kanssa. Tutkimus rajataan koskemaan niitä Liikenneviraston ja ELY-keskuksien tiehankkeiden riskejä, joille voidaan määrittää kohdistettu sijainti. Tässä tutkimuksessa riskien tietomallintamisella tarkoitetaan projekteissa tunnistettujen riskitietojen liittämistä tietomalliin tukemaan suunnittelua ja tiedon parempaa huomioimista.

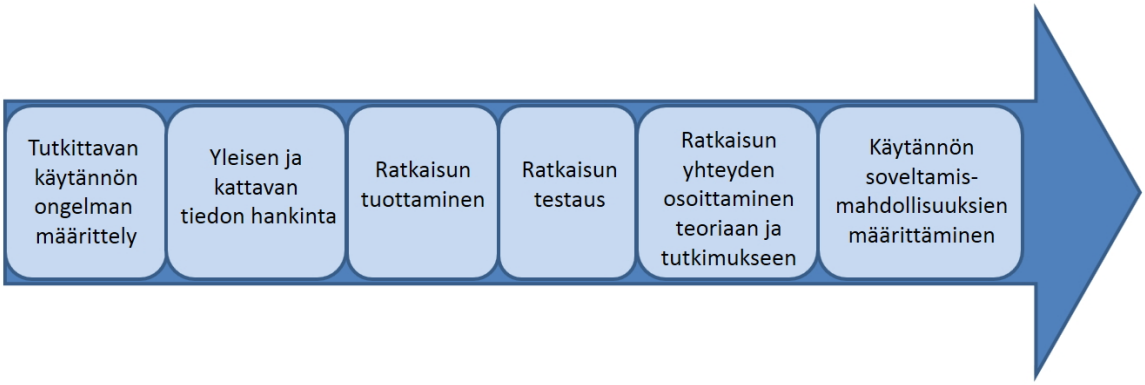
Työssä ei tutkita sitä, miten voitaisiin kehittää riskienhallinnan prosesseja hyödyntämällä tietomallintamista riskienhallinnassa. Kirjallisuuskatsauksessa tuodaan esiin laajemmin riskienhallintaan ja tietomallintamiseen liittyvää ajankohtaista tutkimusta. Samassa yhteydessä myös kuvataan Liikenneviraston ja ELY-keskuksien käyttämät ohjeistukset infrahankkeisiin ja riskienhallintaan liittyen, koska ne liittyvät keskeisesti myös tämän tutkimuksen kontekstin ymmärtämiseen. Riskien visuaalisen hahmottamisen hyödyntämistä arvioidaan työn pilotoinnin yhteydessä.

1.4 Menetelmävalinnat

Tutkimus on konstruktiivinen tutkimus, jossa käytettiin tiedon keräämisen menetelminä kirjallisuuskatsausta, haastattelututkimusta, lomakekyselyä ja pilotointia.

Järvinen & Järvinen (1995, s. 71-76) kuvaavat konstruktiivista tutkimusta soveltavaksi tutkimukseksi, jossa lopputuotteen sijasta voidaan jopa tyytyä prototyyppiin tai pelkkään suunnitelmaan, jos sen pohjalta voidaan päätellä, miten se tultaisiin toteuttamaan. Tavoitteena konstruktiivisessa tutkimuksessa on ratkaista käytännön ongelma luomalla konstruktio eli konkreettinen ratkaisu, jotka voivat olla esimerkiksi sovelluksia tai tuotteita. (Järvinen

1995.) Tutkimusprosessi jakaantuu kuuteen eri vaiheeseen. Menetelmää voidaan kuvata tekemisen kautta oppimiseksi, jossa käytännön ongelmaa kartoitetaan olemassa olevan tutkimuksen pohjalta kehittämällä konstruktio (vaiheet 1-3), jota testataan käytännössä (vaihe 4). Ratkaisussa käytetyn tutkimuksen ja uutuusarvon merkitys osoitetaan viidennessä vaiheessa. Kuudennessa eli viimeisessä vaiheessa esitetään ratkaisun soveltamista käytäntöön. (Lukka 2000.) Tämä tutkimus mukailee kuvassa 1 esitettyjä vaiheita ja soveltuu hyvin tutkimukseen, jossa tavoitteena on konkreettinen ratkaisu reaalimaailman ongelmaan.



Kuva 1. Konstruktiivinen tutkimusprosessi ja tutkimuksen eteneminen (Kasanen 1993).

Haastattelututkimuksessa sovellettiin kvalitatiivista puolistrukturoitua haastattelumuotoa, jossa kaikille haastateltavilla esitettiin samat kysymykset ja samassa järjestyksessä. Kysymysten välissä saatettiin kuitenkin kysyä täydentäviä kysymyksiä mahdollisimman kattavan vastauksen saavuttamiseksi tai jos vastaajalla oli vaikeuksia ymmärtää kysymyksellä tavoiteltua vastausmuotoa.

Puolistrukturoidussa haastattelumuodossa ei kuitenkaan ole välttämätöntä, että kysymysten muoto tai järjestys olisi haastateltaville sama. Haastattelumuotoa on käytetty paljon yhteiskuntatieteellisessä tutkimuksessa, koska se vastaa hyvin kvalitatiivisen tutkimuksen lähtökohtia (Hirsjärvi et al. 1997, s. 197). Tähän haastattelumuotoon päädyttiin vertailtaessa sitä kyselytutkimukseen, jossa kysymykset esitetään kyselylomakkeella vastaajille. Tämän tavan hyötyinä on mahdollisuus saavuttaa iso otanta vastauksissa ja kysyä samalla yhtenäisesti useita eri asioita. Vastaavasti Hirsjärvi et al. (1997, s. 184) mainitsee kyselytutkimuksen heikkouksina:

- Ei ole mahdollista varmistua siitä, miten vakavasti vastaajat ovat suhtautuneet tutkimukseen.
- Ei ole myöskään selvää, miten onnistuneita annetut vastausvaihtoehdot ovat olleet vastaajien näkökulmasta.
- Ei tiedetä, miten vastaajat ylipäätään ovat selvillä siitä alueesta tai ovat perehtyneet siihen asiaan, josta esitettiin kysymyksiä.
- Hyvän lomakkeen laatiminen vie aikaa ja vaatii myös tutkijalta monenlaista tietoa ja taitoa.
- Vastaamattomuus nousee joissakin tapauksissa suureksi.

Valitussa puolistrukturoidussa haastattelumuodossa haastateltavat valittiin eri asiantuntijatehtävien alueelta, jotta olisi saavutettu mahdollisimman laaja otanta kuvaamaan infrahankkeen eri osapuolia. Viisi haastateltavista haastateltiin henkilökohtaisesti, viisi videoyhteyden

avulla ja kaksi puhelimen välityksellä. Etähaastatteluihin syinä oli pitkä välimatka, sairasloma tai haastateltavan toive. Näissä haastattelun oheismateriaali oli toimitettu jo ennalta. Laajemmalla aineistolla pystyttäisiin saavuttamaan mahdollisesti luotettavammat johtopäätökset, mutta tässä tutkimuksessa kyselytutkimus olisi ollut enemmän epävarmuutta omaava haastattelumuoto edellä mainituista syistä johtuen.

Haastattelututkimuksen tunnistettuina hyötyinä tämän tutkimuksen yhteydessä voinee pitää Hirsjärven et al. (2007) tunnistamista hyödyistä mukaillen seuraavia:

- Kysymyksessä on vähän kartoitettu aihe, jossa tutkijan on vaikea ennustaa ennalta vastauksia.
- Haastateltava voi kertoa aiheesta laajemmin kuin tutkija pystyy ennakoimaan.
- Halutaan selventää saatuja vastauksia.
- Halutaan syventää saatavia tietoja, esimerkiksi pyytämällä perusteluja esitetyille mielipiteillä. Myös lisäkysymyksiä voidaan käyttää tarpeen vaatiessa.

Hirsjärvi et al. (2007) mainitsee lisäksi hyödyiksi mahdollisuuden tavoittaa haastateltava helposti myöhemminkin, jos on tarpeen täydentää kerättyä aineistoa. Haastattelututkimuksen haittoina on vastaavasti sen ottama aika, huolellinen valmistautuminen haastatteluun ja tarvittava työ virhelähteiden minimoimiseksi. Viimeksi mainittuun liittyvät haastateltavan kokemus tuntea haastattelu itseään uhkaavaksi tai jopa pelottavaksi tilanteeksi. Myös haastattelussa saatetaan suosia sosiaalisesti sopivia vastauksia ja halutaan antaa itsestään tavallista parempi kuva. (Hirsjärvi et al. 2007.)

Aiemmin mainituista häiriötekijöistä huolimatta kyselytutkimusta eli lomaketutkimusta käytettiin kartoitettaessa kansainvälisten asiantuntijoiden tietämystä riskien tietomallintamisesta. Kyselytutkimuksen keskeisintä etua eli laajaa otantaa ei hyödynnetty. Syynä oli halu kohdistaa kysely vain keskeisesti infrapuolen ja tietomallintamisen kehitysryhmien jäsenille.

Haastattelut nauhoitettiin elektronisesti ja litteroitiin tietokoneelle. Litteroinnissa vastaukset kirjattiin jokaisen siihen liittyvän kysymyksen alle henkilöittäin, jonka jälkeen kaikkien vastaukset yhdistettiin yhdeksi asiakirjaksi. Tällä tavoin jokaista kysymystä voitiin tarkastella yksitellen eri haastateltavien näkökulmasta. Tarkastelussa kaikki esiintyneet vastaukset kirjattiin ylös ja jokaisen vastauksen perään merkittiin haastateltavan tunnus. Tällä tavoin pystyttiin löytämään eniten esiintynyt/esiintyneet vastaukset ja hyödyntämään niitä haastatteluiden johtopäätöksissä.

Kirjallisuusselvityksen ja empiirisen tutkimuksen tuloksia käytettiin hyväksi pilotointikohteen valintaan liittyvien kriteerien määrittelyssä, että työkalujen kehittämisessä riskien tietomallintamiseksi. Pilotoinnin menetelmän avulla pyrittiin tutkimuksessa löytämään ensimmäisiä toimivia käytäntöjä riskien liittämiseksi tietomalliin infrahankkeissa.

Pilotoinnin ryhmähaastattelua varten laadittiin seitsemän kysymystä, jotka esiintyivät keskustelun aikana. Menetelmänä hyödynnettiin samaa puolistrukturoitua muotoa kuin työn aiemmassakin haastattelututkimuksessa. Tässä kysymyksiä ei kuitenkaan esitetty järjestyksessä, vaan ainoastaan huolehdittiin, että ryhmäkeskustelussa nousi jokainen kysymyksen teema esiin.

Tutkimuksessa yhdistettiin kansainvälisistä julkaisuista löytyviä teoreettisia konseptimalleja, asiantuntijoiden näkemyksiä hyödyistä ja haasteista, sekä pilottihankkeen lopputuloksina saatuja päätelmiä. Menettelyllä pyrittiin kartoittamaan asian nykytila ja luomaan kattava pohja jatkotutkimukselle asian parissa.

1.5 Tutkimusprosessin kulku ja tutkimuksen rakenne

Tutkimus koostuu viidestä osasta: johdannosta, kirjallisuusselvityksestä, empiirisestä tutkimuksesta (ohjeistus, haastattelut, lomakekysely ja pilotointi), tutkimuksen tuloksista ja johtopäätöksistä.

Tässä luvussa esitellään tutkimuksen tausta, tavoitteet, tutkimuskysymykset sekä tehdyt rajaukset, menetelmävalinnat, tutkimusprosessin kulku ja viimeisenä työn rakenne.

Luvussa kaksi muodostetaan selvitys aiempiin tutkimuksiin ja tuodaan esille olennaisimmat diplomityön aiheeseen viittaavat kirjallisuuslähteet. Luku on jaettu neljään aihepiiriin: 1) tietomallintaminen 2) riskienhallinta 3) visualisoinnit riskien välttämisen tukena 4) tiedonsiirto tietomalleissa.

Kolmas luku koostuu tutkimuksen empiirisistä keinoista, joita ovat Suomessa infrahankkeissa käytössä oleva ohjeistus, puolistrukturoidut haastattelut ja riskien tietomallintamisen pilotointi ”E18 Turun kehätien parantaminen välillä Kausela–Kirismäki” -hankkeessa. Haastattelututkimuksessa selvitetään reilun kymmenen infra-alan asiantuntijan käsitystä riskienhallinnan ja tietomallintamisen nykytilasta, sekä mahdollisia havaintoja ja näkemyksiä riskien tietomallintamisesta. Lisäksi ulkomaisille infra-alan vaikuttajille suunnatulla lomakekyselyllä etsitään kansainvälisen kirjallisuuden ulkopuolelta löydöksiä. Pilotoinnissa tutkitaan riskien tietomallintamisen syksyn 2017 käsityksen pohjalta muodostettua toteutusta ja siitä saatavia välittömiä, sekä ennustettavia hyötyjä. Myös heikkoudet ja uhat analysoidaan tässä yhteydessä.

Neljännessä luvussa kuvataan ensiksi perusteet ehdotukselle riskien tietomallintamisen toimintatapoja kohtaan, sekä kuvataan vähimmäisvaatimukset tämän mahdollistamiseksi. Tietomallien tiedonsiirtäminen on hyvin olennainen asia käytännön toteutuksen kannalta, joten tässä luvussa myös annetaan ehdotelma riskeihin liittyvästä nimikkeistöstä.

Tutkimuksen viides luku koostuu tutkimuksen johtopäätöksistä. Tässä verrataan luvuissa 1.2 ja 1.3 asetettuja tutkimuskysymyksiä ja tutkimuksen tavoitetta saavutettuun lopputulokseen. Luvussa pohditaan, saavutettiinko tällä tutkimuksella vastaus riskien tietomallintamisen mahdolliseen toteuttamistapaan, haasteisiin ja hyötyihin. Viimeiseksi käsitellään tutkimuksen luotettavuutta ja esitetään jatkotutkimukselle soveltuvia aihepiirejä laajemmin aiheen ympäriltä.

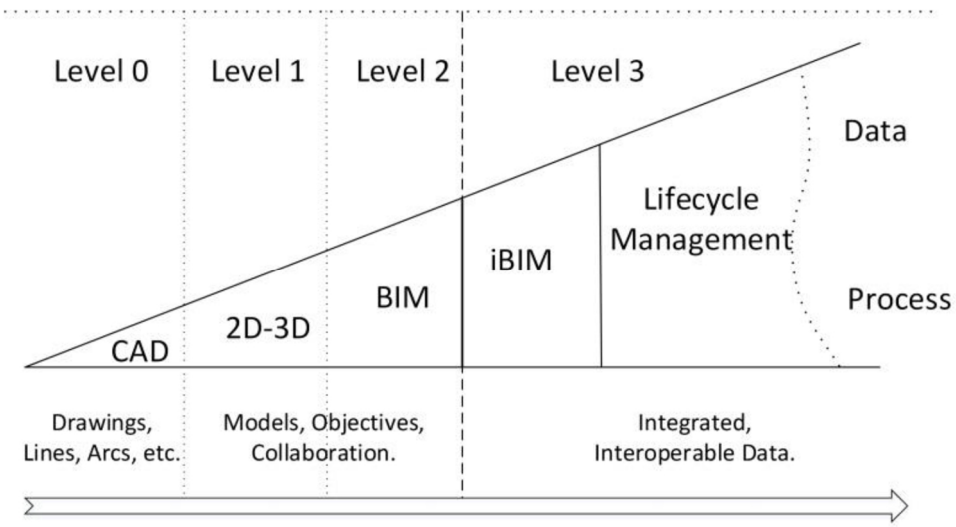
2 Kirjallisuusselvitys

Tutkimus aloitettiin heinäkuussa 2017 aiheeseen liittyvää kirjallisuutta kartoittaen. Tähän käytettiin Scopus-, Google Scolar-, ScienceDirect- ja ResearchGate-tietokantoja. Kirjallisuuden etsimisessä käytettiin hakusanoja, kuten ”BIM”, ”risk”, ”safety” ja ”visualization” eri muodoissa yhdistellen. Näiden hakujen tuloksia tarkasteltaessa selvisi, että tämän tutkimuksen tutkimuskysymyksiin ei suoraan löydy vastauksia kansainvälisistä julkaisuista. Kysymyksiä lähimmäksi löytynyt tutkimus keskittyi tohtori Yang Zoun tohtoriväitökseen liittyvään tutkimukseen, jota täsmennettiin henkilökohtaisella kirjeenvaihdolla hänen kanssaan joulukuussa 2017. Kirjallisuusselvitys jakaantuu kolmeen osa-alueeseen, joilla pyritään vastaamaan konstruktiivisen tutkimusprosessin toiseen vaiheeseen, jossa tavoitellaan kattavaa teoreettisen ja käytännön tietämystä. Ensimmäiseksi käsitellään tietomallintamista ja sen laajentumista aina 8D-suunitteluun asti. Toisena käydään läpi tietomallien hyödyntämistä riskienhallinnan näkökulmasta kulkien riskien ja vaarojen visuaalisesta esittämisestä tiedonsiirron tapoihin.

2.1 Tietomallintaminen

Tietomalli ei ole vain rakennuksen fyysinen digitaalinen esitys, vaan se voi myös olla jaetun tiedon säilytyspaikka luotettavalle tiedolle ja siten perusta päätöksenteolle (Zou et al. 2015a). Se on yksi lupaavimmista kehityksistä arkkitehtuurin suunnittelun ja rakentamisen toimialoilla. Tietomallintamisella tarkoitetaan 3D-malleihin perustuvaa suunnittelua, jossa malli sisältää myös muuta kuin vain geometristä tietoa. Varsinkin englanninkielisessä kirjallisuudessa tietomallista käytetään nimitystä Building Information Model, lyhennettynä BIM. Tämän tiedon perusteella mallia voidaan hyödyntää erilaisiin analyyseihin, kuten esimerkiksi kustannusten, aikataulun ja energiakulutuksen arviointiin. Tietomallintamista voidaan myös pitää tehokkaana tapana organisoida ja toteuttaa rakennushankkeen kokonaisvaltaista tiedonhallintaa. Tavoitteena onkin, että tietomalli on käytettävissä koko rakennuksen elinkaaren ajan. Malleista tuotetaan usein havainnekuvat, asiakirjat, 2D-pohjapiirustukset, leikkaukset ja detaljipiirustukset. Määräluettelot rakennusosittain on yksinkertaista tuottaa tietomallia hyödyntäen. Erityispiirteinä mainittakoon, että tietomallihankkeissa mallintamistyöskentely painottuu perinteisiä hankkeita enemmän suunnittelun alkuvaiheisiin. Mitä aikaisemmin rakennushankkeessa mallipohjainen suunnittelu tehdään analyyseineen, sitä tehokkaampaa se on hankkeen kokonaistalouden kannalta. (Eastman et al. 2011.)

Bew ja Richards (2008) on jakanut tietomallintamisen kehittymisen neljää tasoon kuten kuvassa 2. Nollatasolla suunnittelu kuvataan piiruksina, ensimmäisellä 2D ja 3D-suunnittelun välimaastona ja toisella tietomallina. Kolmatta tasoa ollaan vasta saavuttamassa, jossa tietomalli palvelisi koko elinkaaren ajan.



Kuva 2. Suunnittelun kehittymisen eri tasot kuvattuna (Bew & Richards 2008).

Tietomallintamiseen on kehitetty lisäulottuvuuksia kuten 4D, 5D, 6D, 7D ja 8D. Ei ole kuitenkaan yksiselitteistä, voidaanko kaikkia lisäulottuvuuksia pitää uusina ulottuvuuksina vai ainoastaan uudella tiedolla rikastamisella. 4D- ja 5D-suunnittelun käsitteet voidaan kuitenkin nähdä alalla vakiintuneina termeinä, joiden määritelmä on yksiselitteinen. Kuvatut 6-8D-määritelmät heijastavat vain yhtä näkökulmaa. 4D-suunnitteluprosessissa rakentamisen aktiviteetit ovat kytkeytyneenä aikatauluun, jolloin voidaan reaaliaikaisesti visualisoida rakentamisen edistyminen tietomallista. Rakennettavuuden ja projektin työvoiman tarpeen suunnittelu paranee. Yhdistettäessä 4D-tietomalliin kustannukset, niin muodostuu 5D-tietomalli, joka mahdollistaa kustannusten seurannan ajasta riippuen. 6D laajentaa tietomallin kiinteistönhallintaan. Liitettäessä kestävän kehityksen komponentit tietomalliin synnytetään 7D-malli, joka mahdollistaa suunnittelijoiden päästä tilaajan hiilitavoitteisiin ja perustella suunnittelun ratkaisut tätä kautta. 7D-mallissa voidaan myös testata ja verrata eri vaihtoehtoja keskenään kestävän kehityksen näkökulmasta. Työturvallisuuteen laajentamalla tietomallia kutsutaan 8D-malliksi, joka perustuu vasta yhteen tutkimukseen ja on konseptitasolla. (Kamardeen 2010.) Tämä on myös samalla korkein dimensio mitä tietomallisuunnittelun yhteydessä kirjallisuudesta on tämän tutkimuksen aikana löytynyt.

Tietomalli sallii suunnittelijoita ennakoimaan helpommin projektin käyttäytymistä ennen kuin kohde on rakennettu, vastaa suunnittelumuutoksiin nopeasti, optimoi suunnitteluratkaisut, simuloi, visualisoi ja luo korkeampaa laatua rakentamisen dokumentaatiossa. Lisäksi se mahdollistaa siirtämään arvokasta tietoa mallista myöhemmän päätöksenteon tueksi ja hyödyttämään kiinteistöhallintaa. (Kamardeen 2010.)

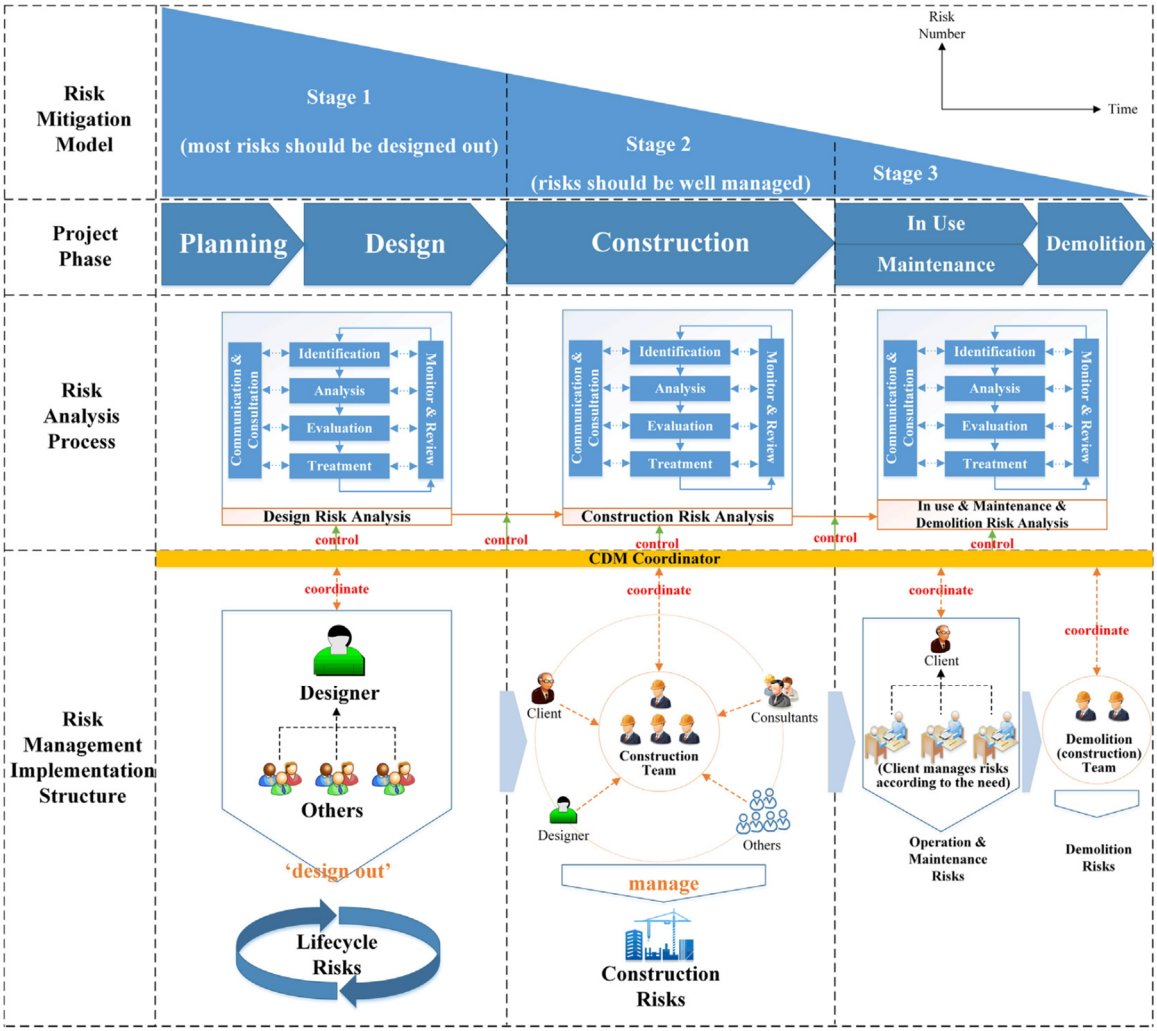
Talonrakennusalalla käytetty termi rakennuksen tietomalli eli englanninkieliseltä lyhenteeltään BIM on muuntunut infra-alalla muotoon inframalli (englanninkielinen lyhenne Infra-BIM). Suomessa infra-alalla tietomallinnusta alettiin kehittää vuoden 2000 alusta Inframodel-tiedonsiirtoformaatin kautta. (Liikennevirasto 2015b.)

Tietomallintamisen käyttöönotolle riskienhallinnassa nähdään olevan merkittävää kiinnostusta (Zou et al. 2015b) ja täten kokonaisuuden ymmärtämiseksi on hahmotettava myös riskienhallintaa yleisellä tasolla. Seuraavassa kappaleessa kuvataan riskienhallinnan haasteita ja mahdollisuuksia tietomallintamisen näkökulmasta.

2.2 Riskienhallinta tietomallintamisen näkökulmasta

Riskille on kirjallisuudessa annettu erilaisia määritelmiä. Project Management Institute määrittelee riskin tapahtumaksi, jolla on joko positiivisia tai negatiivisia vaikutuksia asetetuille tavoitteille (PMI 2013, s. 559). Viime vuosina riskit ovat asteittain kasvaneet johtuen rakenteiden monimutkaistumisesta ja projektin laajuuden kasvusta, sekä uusien ja vaikeiden rakennusmetodien käyttöönotosta. Sen seurauksena projektien kaikkien osallistujien täytyy parantaa kykyä, tietämystä ja kokemusta hallita riskejä projektin elinkaaren aikana varmistaakseen turvallisen, onnistuneen ja kestävän projektin. (Zou et al. 2015b.) Onnistunut riskienhallinta AEC-projekteissa on ratkaisevaa ja nykyiset riskienhallinnan menetelmät ovat kovasti riippuvaisia monialaisesta tiedosta ja kokemuksista (Zou et al. 2015a). Tietomallintamisen käyttö onkin nähty kasvavan viime vuosina nopeasti ja kehittyvänä työkaluna AEC-alalla, joka tarjoaa mahdollista kehitystä yhteistyöhön ja kommunikaatioon, parantaa tuottavuutta ja laatua, vähentäen projektin kustannuksia ja toteutusaikaa (Azhar 2011). Tietomallipohjainen yhteistyö- ja kommunikaatioympäristö voisi luonnollisesti helpottaa aikaista riskien tunnistamista ja vähentämistä (Dossick & Neff 2011; Grilo & Jardim-Goncalves 2010).

Useat tutkimukset (Shim et al. 2012, Hartmann et al. 2012, Zhang et al. 2014) ovat osoittaneet haasteita nykyisissä riskienhallinnan menetelmissä, jotka ovat paljolti riippuvaisia kokemuksesta ja monitieteellisestä tiedosta (Zou 2016a). Riskit riippuvat paljolti myös projektityypistä. Useimmat rakennusprojektit sisältävät suuren määrän yleisiä riskejä (Zou et al. 2007). Kuvassa 3 Zou et al. (2016) on esittänyt projektin koko elinkaaren vaiheiden riskienhallintaa perustuen kirjallisuustutkimukseen, tekemiinsä asiantuntijahaastatteluihin ja Englannissa yleisesti AEC-alalla käytössä oleviin riskienhallintamenetelmiin. Tämä perustuu pitkälti Risk Mitigation Model -menetelmään, jossa pääsisältö on tehdä riskien tunnistaminen ja vähentäminen niin aikaisessa vaiheessa kuin mahdollista. Käytännössä tämä tarkoittaa esisuunnittelu- ja suunnitteluvaihetta. Rakentamisen ja myöhempien vaiheiden aikana tulisi hallita jäännösriskejä. (Zou et al. 2016.)



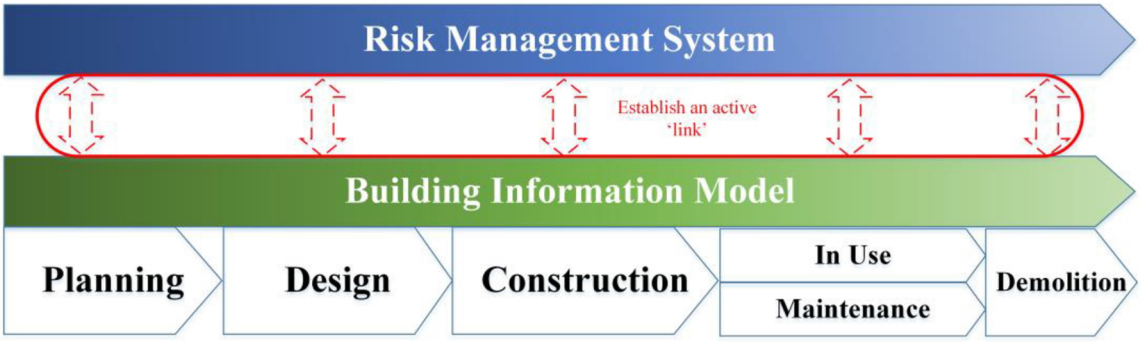
Kuva 3. Yleinen riskienhallinnan viitekehys (Zou et al. 2016a).

Tietomalli on tullut systemaattiseksi menetelmäksi ja prosessiksi, joka muuttaa projektin esitystapaa (Porwal & Hewage 2013), suunnittelua (Liu et al. 2014), ja kommunikaatiota (Hardin & McCool 2015, s. 16). Useat julkaisut hyödyntävät työkaluna tietomallia projektin riskien hallitsemiseksi, koskien suunnitteluvirheitä, työturvallisuutta, laatua ja budjettia, mutta näissä ei useinkaan viitata suoraan käsitteeseen riskienhallinta. Tietomallintamisen monipuolisuudesta tutkimuksissa löydetyt hyödyt riskienhallinnassa on Zou (2016a) tutkimuksessaan koonnut taulukkoon 1. Kolmannessa sarakkeessa tutkimukset käsittelevät teoreettisella tasolla asiaa ja neljännessä sarakkeessa teoriaa on sovellettu käytäntöön. Myös Sacks (2009) on Leanin ja tietomallintamisen vuorovaikutuksen tutkimuksessaan taulukoinut hyötyihin viittaavaa tutkimusta. Tämä tutkimus tunnisti näistä 56:sta tapauksesta yhdeksän liittyviksi riskeihin. Kaikki yhdeksän viittaavat kuitenkin Eastman et al. (2008) kirjaan. Vaikka kirja on tähän mennessä kuuluisin teos tietomallinnuksesta, niin sen liittämistä useisiin taulukon 1 kohtiin ei voida pitää lisäarvoa tuovana.

Taulukko 1. Tutkimuksista löytyvän tietomallintamisen hyödyt riskienhallinnalle (Zou et al. 2016a).

Toiminnallisuus	Hyödyt riskienhallinnalle	Tutkimus	Käytäntö
3D visualisointi	Auttaen aikaista riskien tunnistamista ja riskien kommunikointia.	Hartmann et al. (2008)	Liu et al. (2014), Shim et al. (2012)
Törmäystarkastelu	Fyysisten konfliktien havaitseminen mallista automaattisesti.	Hartmann et al. (2008), Tang et al. (2011)	Chiu et al. (2011), Liu et al. (2014)
4D rakennusaikataulu/ suunnittelu	Auttaen aikaista riskien tunnistamista ja riskien kommunikointia; parantaa rakentamisen hallinnan tasoa.	Hardin (2011), Hartmann et al. (2008), Whyte (2002)	Chiu et al. (2011), Liu et al. (2014)
5D kustannusarvio tai kassavirtamallinnus	Suunnittelu, valvonta, budjetin hallinta ja kustannusten perusteleminen.	Hardin (2011), Hartmann et al. (2008), Marzouk & Hisham (2014), Whyte (2002)	Motawa & Almarshad (2013)
Rakentamisen edistymisen seuranta	Parantaa laadun, turvallisuuden, ajan ja budjetin hallinnan tasoa.	Bhatla et al. (2012), Eastman et al. (2011)	-
Turvallisuuden hallinta	Vähentää henkilökohtaisia turvallisuusuhkia.	Teizer (2008), Whyte (2002)	-
Tilahallinta	Parantaen tilojen jakamista ja hallintaa suunnittelussa.	Hartmann et al. (2008), Kim et al. (2012)	-
Laadun valvonta	Parantaen rakentamisen laatua.	Chen & Luo (2014)	-
Rakenneanalyysit	Parantaen rakenteiden turvallisuutta.	Lee et al. (2012b), Sacks & Barak (2008), Shim et al. (2012)	Liu et al. (2014)
Riskien ennustaminen	Vähentäen henkilökohtaisia turvallisuusuhkia.	Azhar (2011), Hardin (2011)	Hartmann et al. (2012)
Käyttö ja kunnossapito, toimitilajohtaminen.	Parantaen hallinnan tasoa ja vähentäen riskejä.	Becerik-Gerber et al. (2011), Volk et al. (2014)	-
Yhteentoimivuus	Vähentäen informaation menetystä tiedonsiirrossa.	Ji et al. (2013), Laakso & Kiviniemi (2012)	-
Yhteistyön ja kommunikaation helpottaminen.	Helpottaen aikaista riskien tunnistamista ja riskien kommunikaatiota.	Dossick & Neff (2011), Grilo & Jardim-Goncalves (2010), Porwal & Hewage (2013)	-
Kaupunkisuunnittelu ja suunnittelu	Yhdistäen kaupunkitilan suunnittelu ja AEC projektit; helpottaen maankäytön suunnittelua, suunnittelua ja hallintaa.	Kim et al. (2011), Lee et al. (2012a), Rajabifard et al. (2012)	Lee et al. (2012a)

Epäilemättä tietomallintaminen kehittää AEC-toimialaa seuraavaan sukupolveen ja siksi uskotaankin, että riskienhallinta tulee olemaan voimakkaampaa ja tehokkaampaa kuin mitä se on tällä hetkellä. Riskienhallinta tulee näyttelemään entistä arvokkaampaa roolia, kun projektin osallistujat alkavat käyttää näitä uusimpia tekniikoita osana heidän päivittäistä työtä. Useimmat nykyisistä tietomallipohjaisista riskienhallinnan ponnisteluista ovat teknologiavetoisia. Vain harvat tutkimukset osoittavat, kuinka uudet tekniikat, perinteiset riskienhallintamenetelmät ja -prosessit voidaan integroida järjestelmällisesti ja tehokkaasti tietomallipohjaiseen riskienhallintaan. (Zou et al. 2015b.) Päästäkseen tämän kuilun yli Zou et al. (2015b) ehdottaa aktiivista ”linkkiä” tietomallien ja riskienhallintajärjestelmien välille kuvassa 4.



Kuva 4. Tietomallin ja riskienhallinnan välinen ”aktiivinen” linkki (Zou et al. 2015b).

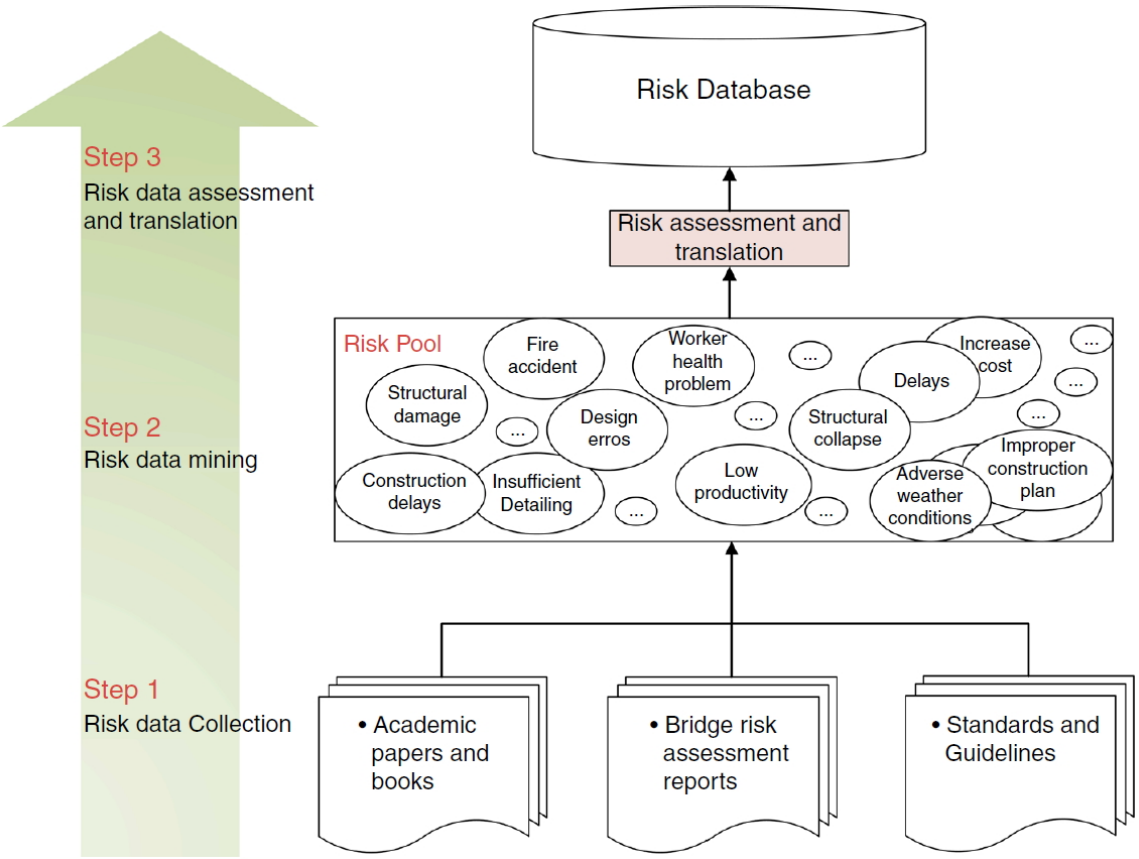
Tietomalleja hyödynnetään useisiin eri tarkoituksiin riskien välttämiseksi tai pienentämiseksi, mutta tietomallien hyödyntäminen suoraan riskienhallinnan prosesseissa kokonaisvaltaisesti on vajavaista. Hankkeen tunnistettujen riskien viemiseksi tietomalliin jäädään konseptuaaliselle tasolle ja seuraavassa kappaleessa paneudutaankin tiedon siirtymisestä aiheutuviin ongelmiin ja mahdollisuuksiin. Lopussa esitellään tutkimuksissa riskeihin ja vaaroihin liittyviä sovelluksia, jotka hyödyntävät suunnitteluohjelmistojen rajapintoja.

2.3 Riskitieto ja sen siirtyminen

Projektissa tieto kulkee suunnittelijoiden kesken ja suunnittelijoilta urakoitsijalle ja tilaajan edustajille. Projektin valmistuttua suunnittelijat ja urakoitsijat jättävät projektin. Tällöin on vaarana, että suuri määrä hiljaista tietoa riskeistä saatetaan menettää, jos tietoa ei ole asianmukaisesti tallennettu ja tiedotettu muille projektin osallistujille. (Kazi 2005.) Myös Tah & Carr (2001) toteavat merkittäviä ongelmia riskitiedon välittämisessä. Tieto on yleensä vajavaista, puutteellista, epäjohdonmukaista ja perustuu eri osapuolien hajanaiseen tietoon ja osaamiseen.

Tehokas tapa hyödyntää aiempien projektien kokemuksia riskienhallinnasta on tehdä riskeistä kattava tietokanta. Tietokanta voisi auttaa kaikkien projektiriskien järjestelmällistä ymmärtämistä ja helpottaa projektiryhmää käyttämään riskitietoa projekteissa tehdäkseen nopeita päätöksiä (Kartam & Kartam 2001, Wang & Chou 2003). Koska rakentaminen on luonnollisesti aktiivinen prosessi, jossa on odottamattomia muutoksia, riskejä ja uutta tietoa tulee projektiin päivittäin, on ratkaisevan tärkeätä käyttää loogista ja nopeaa lähestymistä laajojen tietomäärien luokitteluun ja jäsentelyyn.

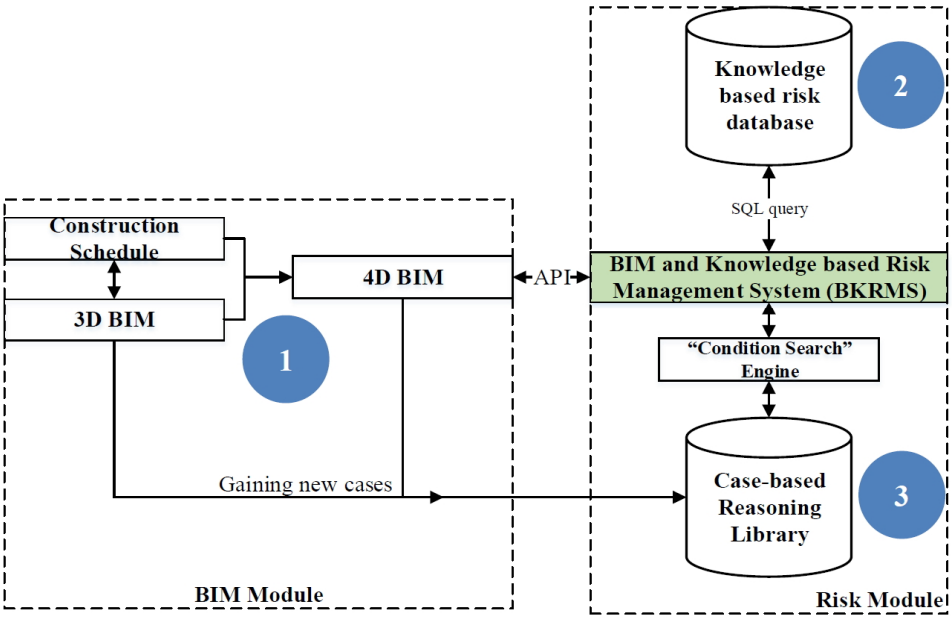
Monessa tutkimuksessa on tavoitteena ollut ”täydellinen” riskitietokanta (Kartam & Kartam 2001, Wang & Chou 2003). Koska erilaisia riskejä on hyvin laajasti, on vaikea laatia täydellistä riskitietokantaa, jota voitaisiin käyttää kaikilla aloilla. Erilaiset riskit liittyvät hyvin usein tietyntyyppisiin projekteihin ja olosuhteisiin. Useimmat tutkimukset rajautuvat riskien osalta tiettyyn kohdistettuun aihealueeseen. Esimerkiksi El-Sayegh (2008) listasi tutkimuksessaan 33 pääriskitekijää tienrakennusprojektissa Yhdistyneissä Arabiemiraateissa. Tutkimuksessaan Zou et al. (2016) käytti kolmeportaista lähestymistä tietopohjaisen riskitietokannan kokoamiseen ja riskien tunnistamiseen. Prosessi on havainnollistettu kuvassa 5.



Kuva 5. Tietopohjaisen riskitietokannan prosessi kuvattuna kolmena eri vaiheena (Zou et al. 2016b).

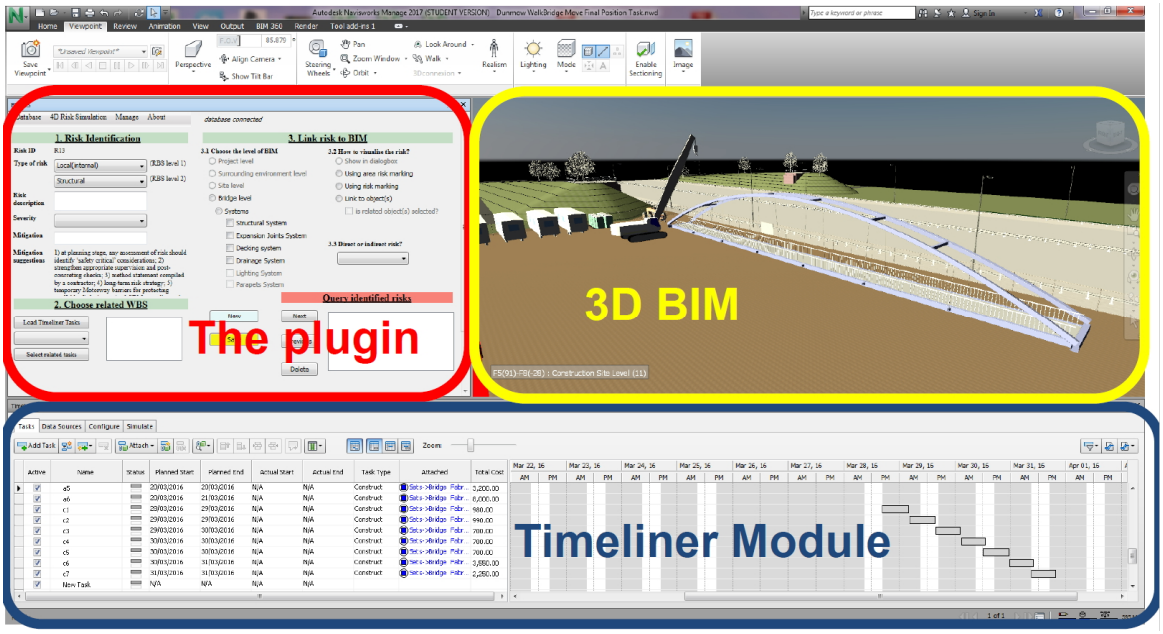
Riskienhallinnan ja tietomallien yhdistämiseksi Zou et al. (2017) esittää kahta lähestymistapaa. Ensimmäinen tapa on sisällyttää kaikki riskitieto tietomalliin ja toinen tapa perustaa linkki riskien ja tietomallin välille. Näistä linkin muodostaminen nähdään parempana vaihtoehtona sisältäen kaksi perustelua. Ensimmäiseksi riskien laajuus on hyvin monimuotoinen käsittäen esimerkiksi rahoituksen, ympäristön, terveyden ja turvallisuuden aiheita. Useimmat riskitiedot tallennetaan arkikielellä ja eri toimialojen asiantuntijat tallentavat riskit myös eri tavoin, mikä vaikeuttaa riskitiedon tallentamista tietomalliin. Toisena perusteluna on eri toimialojen asiantuntijoiden tapa käyttää eri sovellusalustoja ja työkaluja. Varastoimalla tieto riskienhallintajärjestelmään ja linkittäen se tietomalliin voitaisiin vähentää mahdollista tiedon hävikkiä päivitettäessä, muutettaessa tietoa tai siirrettäessä tietoa eri sovellusalustojen välillä. Suunnitteluohjelmiston käyttöliittymä voidaan kehittää tukemaan riskin tunnistamista ja analysointia. Tässä Zou et al. (2017) mainitsee avoimien rajapintojen hyödyntämisen ja riskitiedon varastoimisen pilvipohjaisiin tietokantoihin. Tietokannasta riski linkitettäisiin tietomalliin ja visualisoitaisiin.

Suunnitteluohjelmistojen avoimiin ohjelmointirajapintoihin on viitattu suppeasti, vaikka tutkimuksissa käsitelläänkin työturvallisuuden sovelluksia tunnistaa riskejä ja vaaroja tietomalleista sovelluslaajennusten keinoin. Zou (2017), Rodrigues (2017), Feng ja Lu (2017) ohjelmointirajapintoihin viittaamisen lisäksi käyttävät niitä hyödyksi tutkimuksessaan raportoiden asiasta lyhyesti. Zou (2017) on kuvassa 6 havainnollistanut kehittämänsä sovelluksen prosessia riskitietokannan ja suunnitteluohjelmistoon kehitetyn laajennuksen välillä. Kaavio esittää kuvassa 7 näytetyn prototyypin toimintaa.



Kuva 6. Kaavio tietomallin ja tietopohjaisen riskienhallintajärjestelmän välisestä kommunikaatiosta avoimen rajapinnan kautta (Zou 2017).

Rodrigues (2017) mainitsee tutkimuksessaan tietomallin hyödyntämisestä työturvallisuuden parantamisessa Autodesk Revitin avoimen rajapinnan (API), jonka kautta on mahdollista ohjelmoida sovelluslaajennuksia. Näillä voidaan analysoida tietomallia ja tarkistaa mallista laatoista löytyvät aukot putoamisvaaroihin liittyen. Projektipäällikkö voi sovelluksella helposti ja nopeasti saada tiedon vaaroista ja vähentää tällä tavoin mahdollisia virheitä. Myös kirjoittamatta ohjelmistokoodia suunnittelija pystyy visuaalisen ohjelmoinnin keinoin Autodesk Dynamon avulla ratkaisemaan ongelmia. Feng ja Lu (2017) käyttävät tutkimuksessaan automaattisen työturvallisuuden parantamisen sovelluksissa työmaatelineiden suunnittelussa Autodesk Dynamoa, joka on visuaalinen ohjelmointiympäristö Revit suunnitteluohjelmistoon. Lisäksi tietokantaan aiemmin tallennettuja riskejä on pystytty hyödyntämään (kuva 7) riskien tunnistamisessa Autodesk Navisworks ohjelmistossa sen ohjelmointirajapintaa käyttämällä (Zou 2017).



Kuva 7. Prototyyppi Navisworks-suunnitteluohjelmiston laajennuksesta (The plugin) tietokantaan säilötyn riskitiedon hyödyntämiseksi suunnitteluohjelmistossa (Zou 2017).

Tutkimukset keskittyvät pitkälti riskien varastoimiseksi tietokantaan ja tämän tiedon hyödyntämiseksi riskienhallinnassa tietomallin kautta. Tässä ohjelmistojen rajapinnoilla on keskeinen rooli. Seuraavassa kappaleessa esitetään riskeihin ja vaaroihin liittyviä visualisointien esimerkkejä tietomalleista ja näitä pyritään hyödyntämään tutkimuksen empiiristen menetelmien kanssa.

2.4 Riskien ja vaarojen visualisointi

Henkilöturvallisuus on osa riskienhallintaa, vaikka sitä käsitelläänkin yleensä erillisenä. Rakennusteollisuudessa maine työturvallisuudessa on aina ollut kehno. Se on yksi vaarallisimmista teollisuuden aloista. Esimerkiksi Australian rakennusteollisuus työllistää noin 5% työvoimasta, mutta onnettomuuksista aiheutuneiden korvauksien osuus on 9% kaikista korvauskustannuksista (Dingsdag et al. 2006). Australiassa tehty tutkimus (Creaser 2008) osoitti, että rakennustyömaiden onnettomuuksista 37% johti kuolemaan ja 30% oli suunnittelusta johtuvia. Gibb et al. (2004) johti sadan rakennusonnettomuuden tutkimusta Britanniassa ja raportoi, että 47% tapauksissa olisi suunnittelun muutoksilla voitu vähentää onnettomuuden riskejä. Behm (2006) analysoi 450 raporttia rakennustyöntekijöiden kuolemista ja vammoista Yhdysvalloissa ja totesi, että yli 30% tapauksista olisi voitu estää, jos turvallisuus olisi paremmin otettu huomioon suunnittelussa.

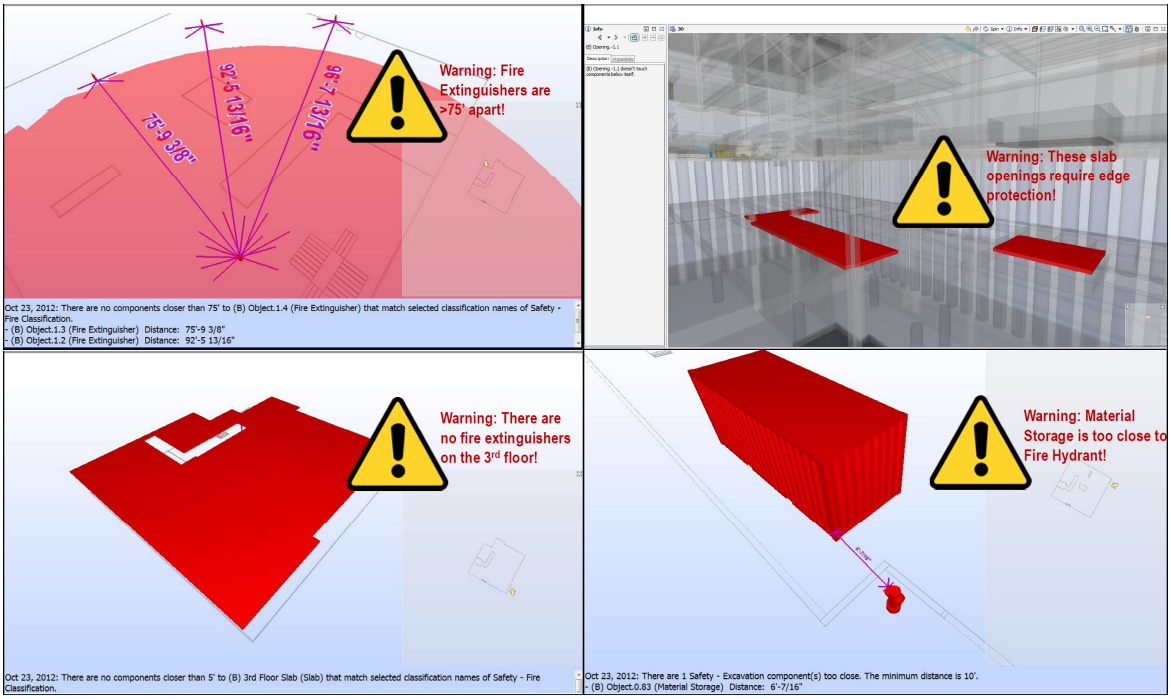
Riskien ja vaarojen visualisoinnin tutkimus keskittyy lähinnä työturvallisuuden alueelle. Tutkijat ovat kehittäneet monia uusia työkaluja urakoitsijoita käyttöön auttamaan projektien työturvallisuuden tavoitteiden saavuttamisessa. Digitaaliset teknologiat, kuten online-tietokannat, VR, GIS, 4D CAD, BIM, herkkyys/varoitus -teknologiat on otettu laajasti käyttöön työmaan vaarojen estämisessä. Useimpia näitä teknologioita on yhdistetty keskenään. (Zhou et al. 2012.)

Virtuaalitodellisuutta on käytetty koulutettaessa työmaan työntekijöitä pelipohjaisessa 3D-ympäristössä havaitsemaan turvallisuusriskit (Guo et al. 2012). Sitä on myös hyödynnetty oletettujen vaarallisten tilanteiden simulointiin ja uhkien välttämiseen (Wang et al. 2014).

Lisäksi VTT:n tutkijoiden ryhmä on demonstroinut tietomallipohjaisen turvallisuuden ja kommunikaatiojärjestelmän. Järjestelmä kehittää rakentamisen prosesseja ja tietomallia 4D-turvallisuussuunnittelua varten (Kiviniemi et al. 2011).

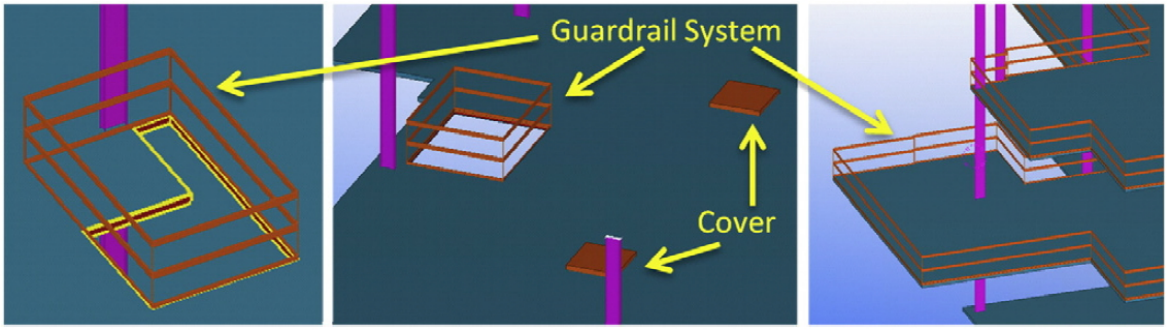
Qi et al. (2011) kehitti sovelluksen parantamaan rakentamisen turvallisuutta, mikä voi automaattisesti tarkistaa putoamisvaarat 3D-mallissa ja luoda myös korjatun suunnitelman. Sulankivi et al. (2010) väittää, että projektin aikana lähes kaikki kuolemantapaukset ja onnettomuudet työmaaympäristössä ovat yleisesti vältettävissä tehokkaalla tietomalliin integroidulla työturvallisuussuunnitelmalla. Enshassin (2016) mukaan tietomallinnus on paras käytettävissä olevista sovellustyökaluista parantamaan henkilöiden turvallisuuskäyttäytymistä rakennusalalla.

Tietomalleissa synnytetyt visualisoinnit, jotka liittyvät riskeihin ja vaaroihin keskittyvät sääntöpohjaisten tarkistussovellusten automaattisuuteen tai käyttäjän manuaalisesti tietomalliin liittämiin objekteihin. Automaattisissa ratkaisuissa tietomallin elementtejä saatetaan värjätä huomiovärillä (kuva 8) tai lisätä käyttäjän näkymään riskistä varoittavia objekteja. Esimerkki automaattisesta tarkistussovelluksesta on Turner Constructionin ohjelmisto, joka tarkistaa 50 asian listan. Tähän kuuluvat esimerkiksi ramppien kaltevuuden minimivaatimusten tarkistaminen, palosammuttimien riittävä määrä, palavien materiaalien minimietäisyydet paloposteista ja rakennuksesta, putoamissuojausta vaativat aukot lattiassa ja jokaisen kerroksen ulkoreunoissa. Ohjelmisto käyttää Solibri Model Checker -ohjelmaa, joka on alan tunnetuimpia tietomallien analysointiohjelmia.



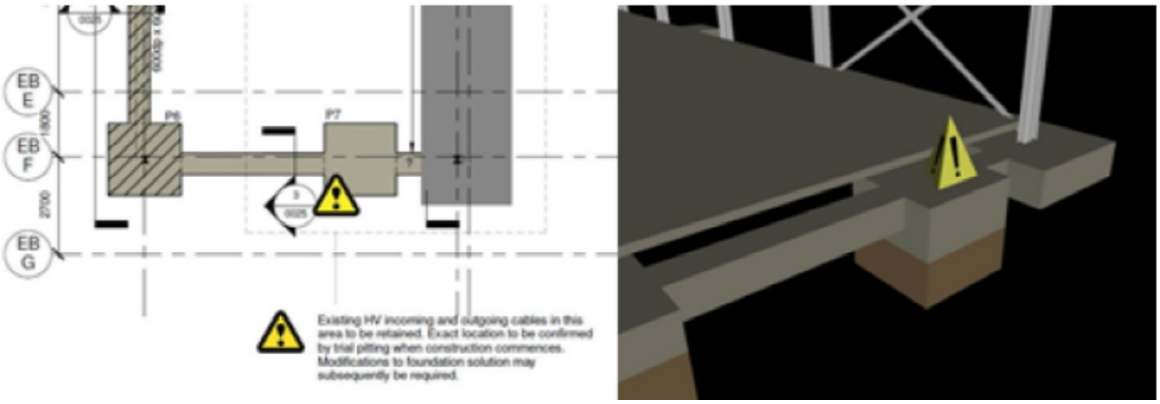
Kuva 8. Turner Construction -sovelluksen tuottamat varoitukset sääntöpohjaisen tarkistelun lopputuloksina (Turner Construction 2013).

Zhang et al. (2012) käsittelee myös sääntöpohjaista tarkistelua, jossa lattia- ja seinäpinnoilta tunnistetaan kohtia, joissa esiintyy putoamisvaara, jolloin ohjelma automaattisesti lisää kaiteet näille alueille (kuva 9). Tämän lisäksi aikatauluun päivitetään kaiteiden asentamisen ajankohdat ja luodaan 4D visualisointi, jossa havainnollistetaan rakentamisen vaiheet tietomallissa.



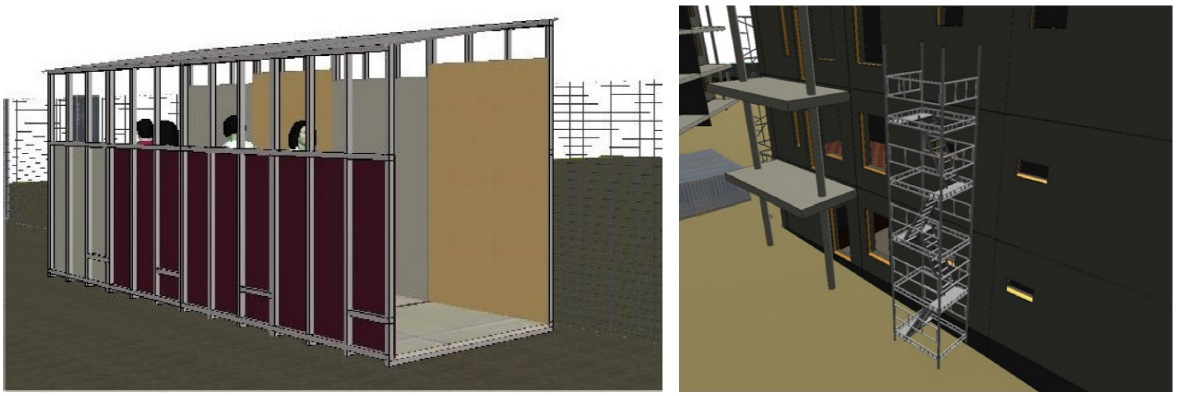
Kuva 9. Havainnekuva sääntöpohjaisesta työturvallisuusriskien tunnistamisesta (Zhang et al. 2012).

Työturvallisuutta voidaan parantaa lisäämällä tietomalliin varoitussymbolit, jotka voivat olla eri tyyppisiä. Kuvassa 10 on varoitussymboleja havainnollistettu 2D- ja 3D-ympäristössä. On myös mahdollista saada kytkettyä varoitussymboli linkillä Excel-pohjaiseen riskirekisteriin. (Ruikar 2016.)



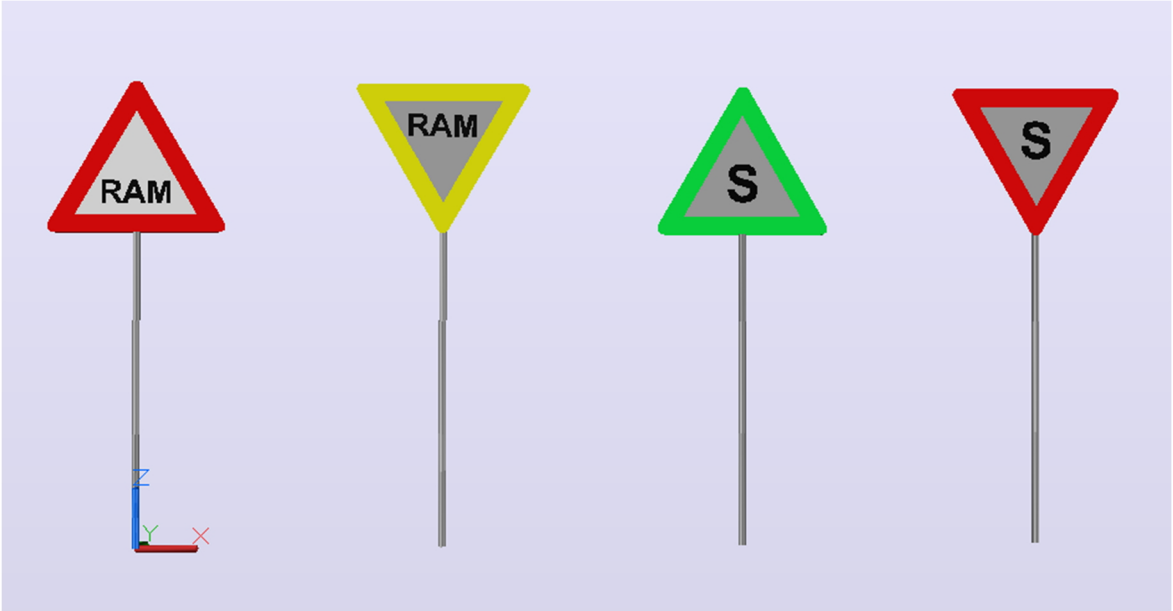
Kuva 10. Työturvallisuuteen liittyvät objektit tietomallissa (Ruikar 2016).

VTT:n tutkimusraportissa (2009) työmaaturvallisuuden kouluttamiseksi arkkitehtimalli kehitettiin vastaamaan työmaata väliaikaisrakenteineen ja varusteineen mahdollisimman täsmällisesti. Tätä varten toteutettiin oma 3D-työmaaobjektikirjasto työmaavarusteista (kuva 11). Haasteeksi osoittautui kyseisen objektikirjaston toimimattomuus suoraan muissa mallinnusohjelmistoissa. Työmaaturvallisuuden tietomallintamisen hyötyinä osoitettiin mm. turvallisuuden suunnittelu, vaarojen tunnistaminen ja riskien arviointi, työnopastus, sekä ajankohtaisista töistä, vaaroista ja turvallisuusjärjestelyistä tiedottaminen. Visualisoinnin avulla osapuolet ymmärsivät paremmin turvallisuuden merkitystä suunnitteluratkaisuissa. Erilaisten vaihtoehtojen vertaileminen tuli myös mahdolliseksi. (VTT 2009.)



Kuva 11. TurvaBIM-kirjaston kulkutunneli ja Haki-porrastorni (VTT 2009, s. 35, 52).

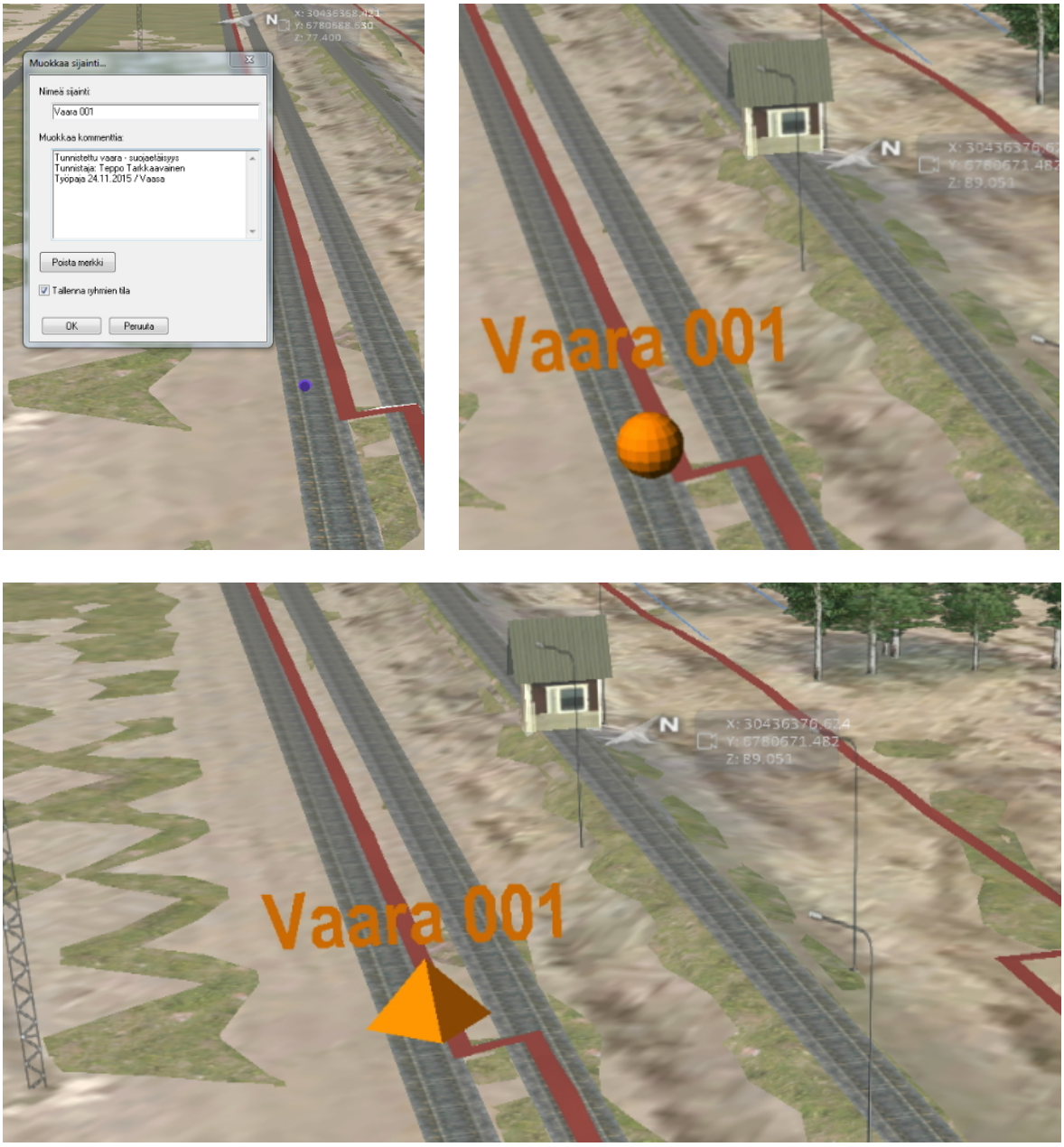
Ramboll Norja kehitti vuonna 2015 rautatieprojektien riskienhallinnalle graafisia symboleita, joilla ilmaistiin tietomallissa riskejä (kuva 12). Varoituskolmion reunan väri osoittaa riskin tilaa ja väreinä ovat vihreä, keltainen ja punainen. Symbolit lisätään tietomalliin käsin, kuten objektit normaalistikin. Myöhemmin Bane NOR on vaatinut BIM-ohjeistuksessa, että näitä symboleita tulee käyttää intercity-junaliikenteen projekteissa ja oletettavaa on, että symboleiden käyttö yleistyy tulevaisuudessa näissä projekteissa laajemmin. (Enger 2017.) Rautatieyhtiö Bane NOR hallinnoi Norjan liikenneverkkoja (Liikennevirasto 2017c).



Kuva 12. Riskejä kuvaavat symbolit tietomallissa (Enger 2017).

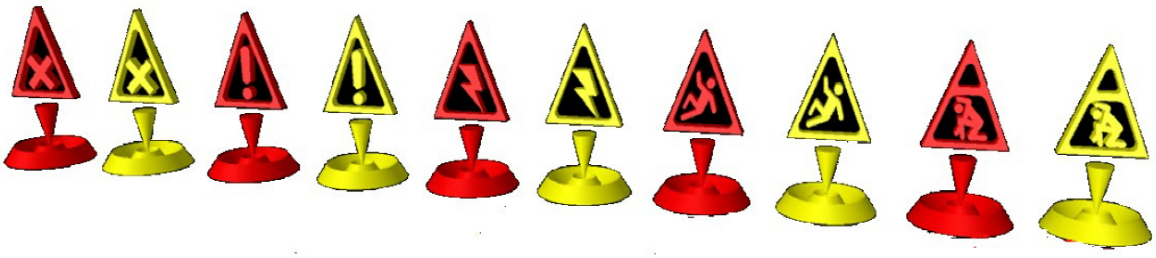
Suomessa VR-Track on vuonna 2015 bSF:lla käydyn keskustelun aikaansaamana laatinut yrityksen sisäiseen käyttöön ”Riskienhallinta inframallissa” -menettelyohjeen. Menettelyohjeessa kuvataan, miten Liikenneviraston ohjeistuksen mukaisessa riskienhallinnassa voidaan käyttää apuna inframallia. Periaatteena on merkitä tunnistettu vaara mahdollisimman lähelle kyseistä kohdetta. Jotta riski voitaisiin linkittää riskienhallintasuunnitelmaan, niin sen yhteyteen merkitään vaaran tunnus. Vaaran kommenttikenttään voidaan merkitä myös muita tarvittavia tietoja. Jos vaara ei ole paikkasidonnainen, niin se viedään hankkeen alkupaalulla olevaan näkymään. Vaarat merkitään pallolla (kuva 13), jonka väri määritetään Liikenneviraston riskimatriisin avulla. Väri viestii riskin toimenpideluokkaa. Riskien suuruuden arviointi ja seuranta toteutetaan kuitenkin riskienhallintasuunnitelmassa. Kun riskille

ollaan suunnittelemassa toimenpidettä, niin pallo-objekti vaihdetaan kolmio-objektiin. Riskienhallintatoimenpiteen toteuttamisen jälkeen kolmio-objekti vaihtuu neliöksi, jos riski voidaan katsoa olevan hallinnassa. Itse riskienhallintaraportti linkitetään avautuvaksi suoraan yhdistelmämallista. Tavoitteena on ollut visualisoinnilla auttaa hahmottamaan riskienhallinnan kokonaiskuvaa riskien suuruuksien ja avoimien riskienhallintatoimenpiteiden kautta. (VR Track 2015.)

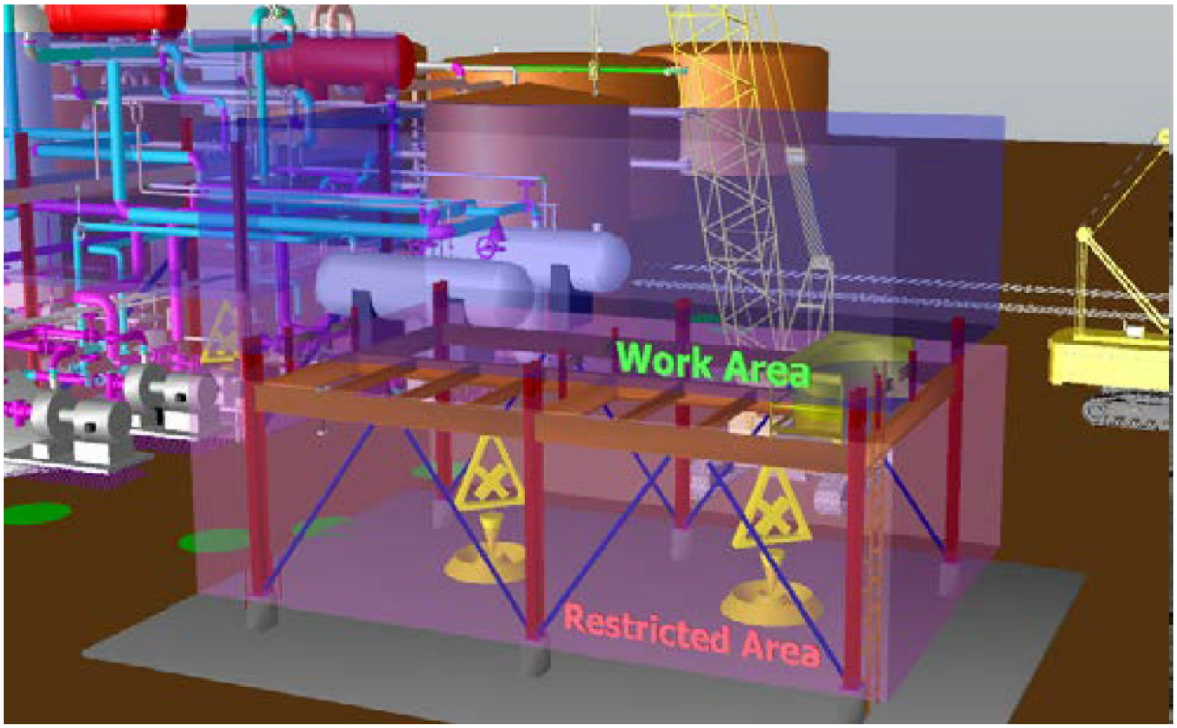


Kuva 13. Vaaran merkitseminen inframalliin, objektiin tallennettu informaatio ja objektin kaksi eri geometristä muotoa (VR Track 2015).

British Standards Institute julkaisee standardin PAS 1192-6 vuoden 2018 alussa. Standardi määrittelee vaatimukset työturvallisuuden tiedon jakamiseksi projektin elinkaaren aikana. Luonnoksesta on nähtävissä, että määrittelyt työturvallisuuden visualisoimiseksi tietomallissa on tulossa standardiin omaksi kappaleekseen. Luonnoksessa asia rajautuu suppeasti kuvan 14 mukaisiin riskisymboleihin ja kuvassa 15 tietomallissa havainnollistettuun vaara-alueeseen.



Kuva 14. Riskisymbolit ja värit perustuvat ISO3864-3:2012 standardiin (PAS 1192-6 2017).



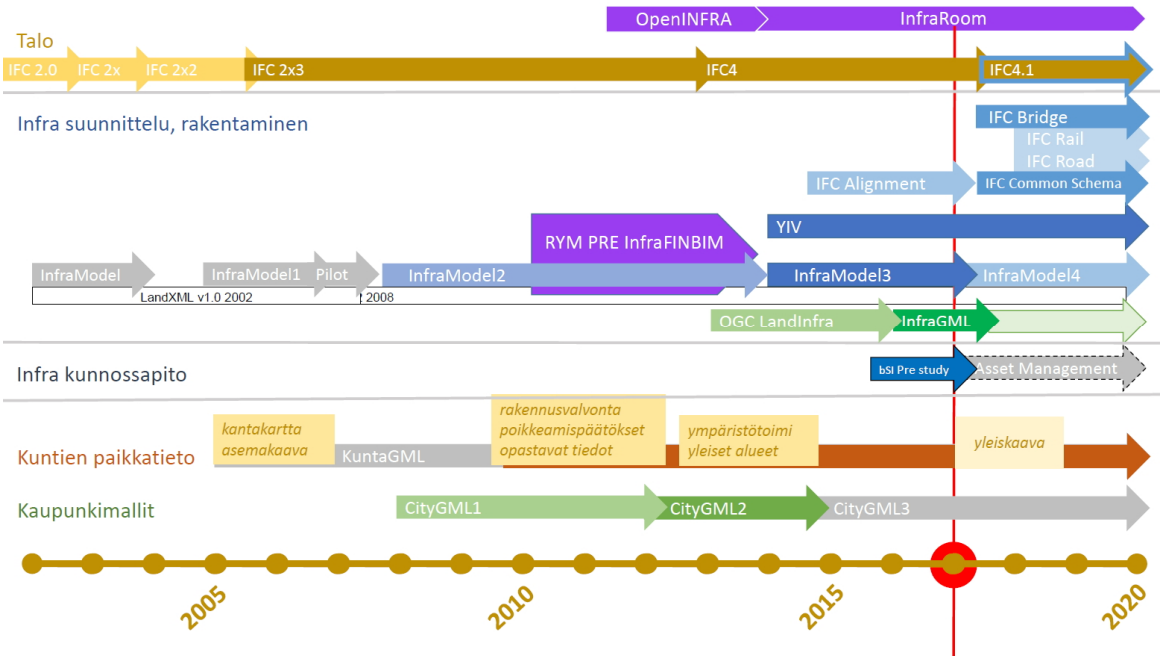
Kuva 15. Tietomalliin voidaan havainnollistaa riskialueita (PAS 1192-6 2017).

Hyödynnettäessä riskien tai vaarojen visuaalista esittämistä objekteina suunnitteluohjelmistoissa, voidaan näihin objekteihin tallentaa myös tietoa attribuutti-muodoissa. Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, riskitieto voidaan linkittää tai sitoa tietomalliin (Zou et al. 2017). Sidottaessa tieto tietomalliin yhteisesti alalla sovittujen määrityksien perusteella voidaan tieto tällöin siirtää eteenpäin toiselle toimijalle. Riskitieto voisi olla yksilöity riskienhallinnan menetelmien mukainen kuvaus riskistä, mutta tiedon sitomiseksi attribuuttina vaaditaan yhtenäinen muoto. Seuraavassa kappaleessa käsitellään tietomallien yhteydessä käytettyjä tiedonsiirtoformaatteja ja niihin liittyviä mahdollisuuksia riskitiedon siirtämiseksi.

2.5 Riskitiedon sitominen tietomalliin

Tallennettaessa tunnistettuihin riskeihin liittyvää tietoa tietomallissa, esimerkiksi erillisiin objekteihin, pitää tiedolle olla yhtenäinen muoto. Jos yhteisesti sovitut periaatteet puuttuvat, niin tiedonsiirto toimijoiden välillä rakentuu epävirallisiin formaatteihin. Kappaleessa esiteltävät LandXML:n lisätieto-elementit ja IFC:n ominaisuusjoukot voisivat olla käyttökelpoinen tapa objektien attribuutti-tiedon siirtämiseksi tietomallien mukana.

Tiedonsiirtoformaattien kehitys on ollut hidasta, koska asioista on päästävä yhteisesti sopimukseen ja määriteltävien asioiden määrä on laaja. Kuvassa 16 on aikajanalla kuvattu vuodesta 2002 alkaen eri toimijoiden kehittämiä tietomallinnuksen standardeja ja ohjeistuksia. Punainen viiva kuvaa diplomityön tekohetkeä vuotta 2017, jonka jälkeen mm. InfraModel4 otetaan laajempaan käyttöön Liikenneviraston aloitteesta. Suomessa ei ole mitään riskeihin liittyvää kehitystyötä tiedonsiirtostandardien osalta tällä hetkellä käynnissä.

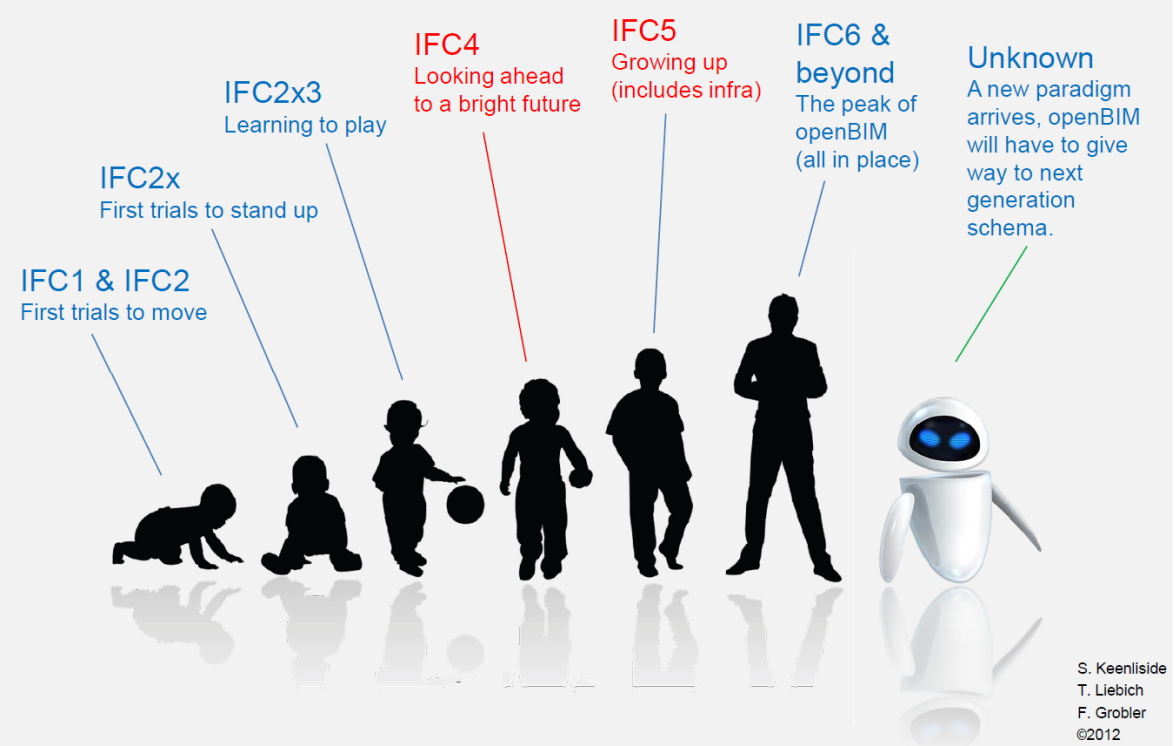


Kuva 16. Eri tiedonsiirron standardit ja ohjeistukset Suomessa kuvattuna aikajanalle (Liukas 2017).

Suomessa infrahankkeissa käytetyin ja Liikenneviraston toukokuusta 2014 alkaen edellyttämä Inframodel3-tiedonsiirtoformaattia on vaadittu tilaajalle suunnittelu- ja toteutushankkeissaan luovutettavan aineiston osalta (Liikennevirasto 2015c). Helmikuun 2018 alusta Liikennevirasto ja kaikki suuret kaupungit edellyttävät Inframodel4-tiedonsiirtoformaattia kaikissa uusissa suunnittelu- ja toteutushankkeissa. Uudistuksina edelliseen Inframodel3-standardiin ovat mm. toteumatiedot; pintarakenteet ja niiden materiaaliominaisuudet; verkkolajit kauko- ja kylmälämpö, kaasu, jäte; kaiteiden ja aitojen ominaisuudet. (bSF 2017c.) Inframodel on suomalainen avoin menetelmä liikenneväylien suunnitelmatietojen siirtämiseksi, joka perustuu kansainväliseen LandXML-standardiin. Tämä LandXML-standardi on Autodeskin toimesta vuonna 2000 käynnistetty projekti infra-suunnittelutiedon avoimeen tiedonsiirtoon. (VTT 2007, s. 10-13.) LandXML ei suoraan tarjoa mitään riskeihin liittyvää tietorakennetta, mutta se mahdollistaa kuitenkin lisätieto-elementin (Feature), johon voidaan lisätä määrittelyn ulkopuolista tietoa. Tämä feature-elementti jakautuu kolmeen alielementtiin, joita ovat

<Property>, <DocFileRef> ja <Feature>. Ensimmäinen näistä on yksittäisenä tietokenttänä käsiteltävä ominaisuus, jolle voidaan määrittää arvo. Toisessa alielementissä <DocFileRef> viitataan liitetiedostoon, jolle on pakollisina määrittelyinä nimi ja sijainti. Kolmas vaihtoehto <Feature> on sisäkkäinen Feature-elementille. (VTT 2003, s.11-13.)

Pohjoismaissa rakennusalalla tiedonsiirtoon käytetään lähinnä IFC-standardia, joka on buildingSMART-organisaation tuotetietomallistandardi. IFC on lähtökohtaisesti talonrakennuksen ja kiinteistönhallinnan tarpeisiin kehitetty, mutta myöhemmin myös infrasuunnittelun puolelle. Tästä on kuitenkin vasta IFC Bridge valmistumassa vuoden 2018 aikana ja IFC Road ja IFC Rail hankkeet käynnistyneet vuoden 2017 aikana. Kehitys on hidasta, koska jo vuonna 2007 IFC Bridge ja Road mainittiin ehdotuksiksi IFC laajennuksista VTT (2007) tutkimusraportissa. Vuodesta 2014 käytetyn IFC4-version on arvioitu korvaavan IFC5, joka kattaisi koskemaan myös infrasuunnittelua monipuolisemmin. IFC5:n arvioidaan tulevan vasta 2030 (Liukas 2017) ja epäilynä on, että se saattaisi korvata Suomessa Inframodel-tiedonsiirtostandardin. Tällä tavoin saavutettaisiin yksi yhtenäisempi standardi eri alojen omien standardien sijaan. Jo vuonna 2012 on ollut tavoitteissa IFC5:ssä infrapuolelle laajentaminen (kuva 17), mutta on ylipäänsä epäselvää mihin suuntaan nämä standardit ovat pitkällä aikavälillä kehittymässä.



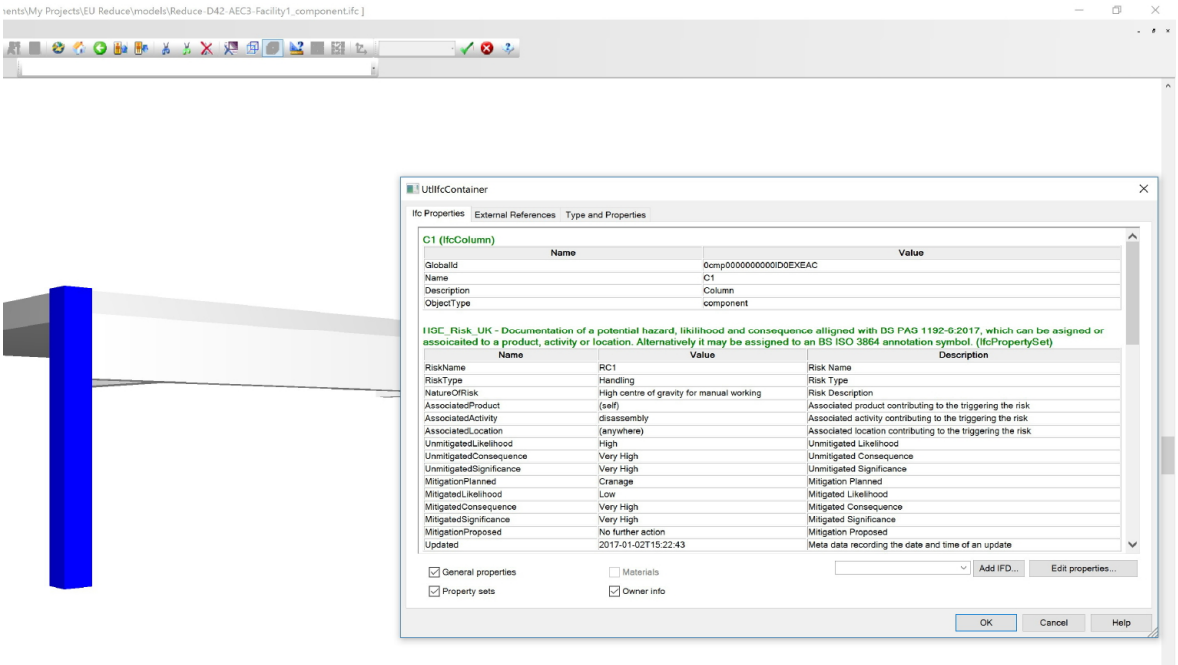
Kuva 17. IFC-standardin kehitys ja näkymät tulevaisuuteen (Keenliside et al. 2013).

IFC-malliin voidaan tallentaa tietoa ominaisuusjoukkojen (Property Sets) avulla. Näitä ominaisuusjoukkoja ja niiden ominaisuuksia käytettäessä voidaan päätyä ohjelmistoihin liittyvään yhteensopivuusongelmaan. Kaikki suunnitteluohjelmistot eivät tue näitä itse tehtyjä ominaisuusjoukkoja. IFC4-standardista löytyy valmiina ”Pset_Risk” ominaisuusjoukko, joka on tarkoitettu kuvaamaan onnettomuutta, vaaraa, uhkaa, riskiä tai kuolemaa.

Taulukko 2. Ominaisuusjoukon Pset_Risk kuvaus IFC4-standardin mukaan.

Nimi	Tyyppi	Vaihtoehdot	Kuvaus
RiskType	IfcLabel	BUSINESS, HAZARD, HEALTHANDSAFETY, INSURANCE, OTHER, NOTKNOWN, UNSET	Tunnistetaan riskityyppi.
NatureOfRisk	IfcLabel	*Vapaa tekstikenttä*	Riskin yleinen luonne.
SubNatureOfRisk1	IfcLabel	*Vapaa tekstikenttä*	Toissijainen yleinen luonne riskille.
SubNatureOfRisk2	IfcLabel	*Vapaa tekstikenttä*	Toissijainen yleinen luonne riskille.
RiskCause	IfcText	*Vapaa tekstikenttä*	Riskin syyn määritteleminen.
AssessmentOfRisk	IfcLabel	ALMOSTCERTAIN, VERYLIKELY, LIKELY, VERYPOSSIBLE, POSSIBLE, SOMEWHATPOSSIBLE, UNLIKELY, VERYUNLIKELY, RARE, OTHER, NOTKNOWN, UNSET	Riskin toteutumisen todennäköisyys.
RiskConsequence	IfcLabel	CATASTROPHIC, SEVERE, MAJOR, CONSIDERABLE, MODERATE, SOME, MINOR, VERYLOW, INSIGNIFICANT, OTHER, NOTKNOWN, UNSET	Riskin vakavuus tilanteessa, jossa se toteutuu.
RiskRating	IfcLabel	CRITICAL, VERYHIGH, HIGH, CONSIDERABLE, MODERATE, SOME, LOW, VERYLOW, INSIGNIFICANT, OTHER, NOTKNOWN, UNSET	Yleisluokitus riskistä.
RiskOwner	IfcLabel	DESIGNER, SPECIFIER, CONSTRUCTOR, INSTALLER, MAINTAINER, OTHER, NOTKNOWN, UNSET	Riskin omistaja suhteessa organisaation päärooleihin. Voidaan myös viitata IfcActorRole.
AffectsSurroundings	IfcBoolean	FALSE / TRUE	Vaikuttaako riski vain siihen osoitettuun henkilöön (FALSE) vai myös ympäristöön (TRUE).
PreventiveMeassures		*Vapaa tekstikenttä*	Tunnistaa ennaltaehkäisevät toimenpiteet riskin lieventämiseksi.

PAS 1192-6 standardin luonnoksessa on havainnollistettu riskitiedon liittämistä tietomallin objektiin IFC:ssä määritellyn Pset_Risk ominaisuusjoukon avulla, kuten esitettynä kuvassa 18.



Kuva 18. Pilari-objektiin attribuutteina tallennettua riskitietoa (PAS 1192-6 2017).

Edellä oleva kirjallisuusselvitys loi konseptuaalista pohjaa tutkimuksessa käytettävälle pilotoinnin menetelmälle. Tutkimuksissa hyödynnettiin suunnitteluohjelmistojen rajapintoja riskienhallinnan sovelluksille (Zou 2017, Rodrigues 2017, Feng & Lu 2017) ja rajapinnat ovat välttämättömiä myös tämän tutkimuksen yhteydessä. Riskien visuaalisesta kuvaamisesta tietomallissa ei tutkimusta löydy, mutta käytännön ratkaisujen soveltaminen pilotoinnissa antaa riittävän pohjan visuaaliselle toteutukselle.

3 Empiirinen tutkimus

Kappale jakaantuu neljään osaan, joista ensimmäisessä käydään läpi riskienhallintaan ja tietomallintamiseen Suomessa infrahankkeisiin vaikuttavaa ohjeistusta. Puolistrukturoidut haastattelut ja näistä tehdyt johtopäätökset käsitellään toisessa osassa. Kolmannessa osassa raportoidaan kansainvälisen lomaketutkimuksen kulkua ja tuloksia. Neljännessä osassa keskitytään riskien tietomallintamisen pilotointiin Turun kehätien E18 Kausela–Kirismäki tieosuudella, jossa kuvataan hanketta, pilotoinnin toteuttamista ja viimeiseksi pilotoinnista saatuja tuloksia.

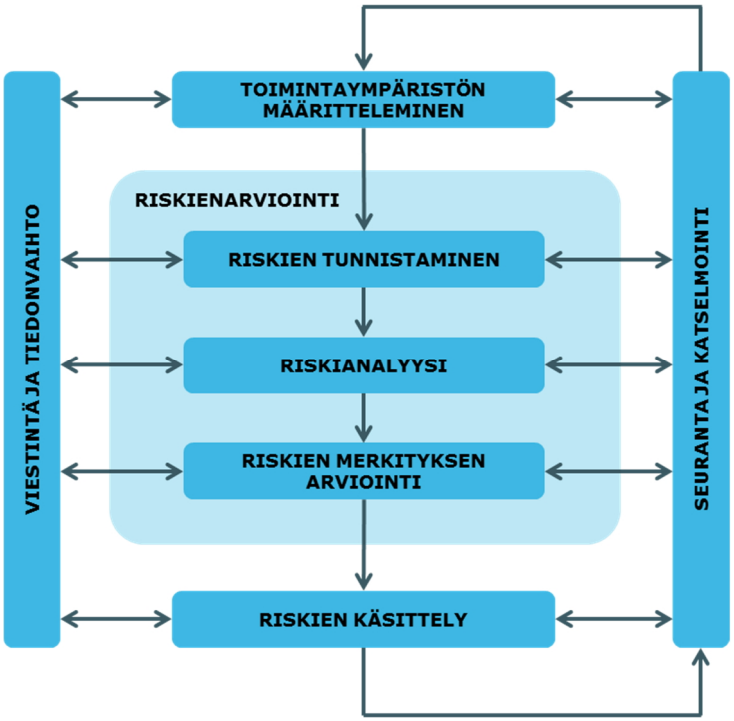
3.1 Infrahankkeita koskeva ohjeistus Suomessa

Ohjeistuksissa esitellään ensimmäiseksi Liikenneviraston riskienhallinta väylänpidossa -ohje, joka on tiivis kokoelma riskienhallinnan toimintatapoja ja menetelmiä. Nämä toimivat riskien tietomallintamisen taustalla Liikenneviraston väylähankkeissa. Ymmärtääkseen riskien tietomallintamisen kytkeytymistä Liikenneviraston määrittämään riskienhallintaan on välttämätöntä tuntea ohjeistus. Ohessa mainitaan myös Liikenneviraston inframalliohje, jossa ohjeistetaan käytännöt koskien tie- ja ratahankkeiden inframallintamista. Kappaleen lopuksi esitellään lyhyesti BuildingSMART Finlandin Yleiset inframallivaatimukset ja InfraBIM-nimikkeistöä.

3.1.1 Liikennevirasto

Vuonna 2018 käyttöönotettu päivitetty Liikenneviraston riskienhallinta väylänpidossa –ohje jakaantuu kahteen eri osaan, joista ”Ohje riskienhallinnan menetelmistä” kuvaa riskienhallinnan prosessia, työkaluja, työskentelytapoja ja ”Riskienhallinta väylänpidossa” riskienhallintaa väylähankkeen eri vaiheissa.

Käsiteltävinä aiheina ovat ohjeistuksen prosessi, työkalut ja viimeiseksi työskentelytavat. Riskienhallinta on jatkuvaa ja tarkentuvaa prosessia, joka sisällytetään kaikkiin hankkeen vaiheisiin. Sen on myös oltava tietoista, suunnitelmallista ja jatkuvaa työtä epävarmuuksien tunnistamiseksi, arvioimiseksi ja hallitsemiseksi. Riskienhallintaan kuuluu olennaisesti ennakoivien toimien tekeminen, niiden vaikutusten seuraaminen ja säännöllisesti toistettavat riskienarvioinnit. Hankkeessa koko, vaativuus ja sisältö määrittelevät riskienhallinnan laajuuden, että käytettävät menetelmät. (Liikennevirasto 2017a.)



Kuva 19. Kuvattuna ISO 31000:2009 standardin mukainen riskienhallintaprosessi (Liikennevirasto 2017a).

Perustyökaluja riskienhallintaan ja riskienarviointiin Liikenneviraston (2017a) mukaan:

- Riskienhallinnan toimintaympäristön määrittely
  Toimintaympäristön määrittely kokoaa hankkeen kokonaisuuden ja tarkastelunäkökulmat yhdeksi kaavioksi, joka helpottaa kokonaisuuden hahmottamista. Projektiorganisaation ulkopuoliset, riskienhallintaan osallistuvat, hyötyvät varsinkin toimintaympäristön kaaviosta.

- SWOT-analyysi
  Analyysi on tyypillinen erityisesti esiselvitysvaiheessa, jossa laaditaan hankkeen toteuttamisesta ja toteuttamatta jättämisestä SWOT-analyysi. Näitä vertaamalla keskenään saadaan käsitys siitä, että onko hankkeen toteuttamien riskialttiimpaa kuin toteuttamatta jättäminen. SWOT-analyysissä tunnistetaan näiden molempien vaihtoehtojen osalta vahvuudet ja heikkoudet, sekä mahdollisuudet ja uhat. Jos hanke etenee seuraavaan suunnitteluvaiheeseen, niin varsinkin tunnistetut heikkoudet ja uhat liitetään riskienarviointiin. Myös vahvuuksia ja uhkia hyödynnetään suunnittelussa.

- Riskien tarkistuslistat
  Avainsanalista, joka toimii käyttäjän muistin tukena varmistaen, että kaikki oleelliset hankkeelle määritetyt yksittäiset tarkistuskohteet, asiat tai mahdolliset tapahtumat tuleva läpikäydyiksi. Tarkistuslista sisältää tyypillisesti systemaattisesti järjesteltyjä vertailuprosesseja tai tapahtumia. Käyttäjä tarkkailee näiden olemassaoloa tai puutetta. Listan täydentäminen, sekä päivittäminen on olennaista prosessin kehittyessä. Vaikka tarkistuslistan avulla tunnistetaan yleisimmät vaaratekijät, niin silti harvinaisemmat saattavat jäädä tunnistamatta.

- Riskienhallintasuunnitelma
  Suunnitelmaan kirjataan tunnistetut riskit aihealueittain. Kuvaus riskistä laaditaan mahdollisimman tarkasti ja riskille määritetään todennäköisyys ja seurausten kuvaus, sekä tarvittavat toimenpiteet. Riskienarvioinnin pohjana käytetään usein aiemmassa hankkeen vaiheessa tehtyä riskienhallintasuunnitelmaa.

- Riskimatriisi
  Tapa arvioida riskin suuruus todennäköisyyden ja seurausten pohjalta. Riskimatriisia tai sen arviointikriteerien kuvauksia voidaan sopeuttaa hankekohtaisesti. Todennäköisyys ja vakavuus ovat kuvattu lukuarvoina 1-5, jossa luku 1 kuvaa pienintä todennäköisyyttä ja luku 5 suurinta. Riskin suuruus kuvataan väreillä tummanvihreä (merkityksetön), vaaleanvihreä (vähäinen), keltainen (kohtalainen), oranssi (merkittävä) ja punainen (sietämätön).

- Liikenneviraston riskienhallinnan ja turvallisuuden tietojärjestelmä TURI
  TURI-järjestelmä on selainpohjainen riskienhallintaympäristö, jonka tavoitteena helpottaa, parantaa ja yhtenäistää hankkeiden riskien- ja poikkeamienhallintaa. Riskienhallinnan tiedot ja turvallisuuspoikkeamat ovat TURI:ssa ryhmitelty hankkeiden ja näiden pohjalta muodostettujen urakoiden alle.

Koska riskienarvioinnin tulee olla kokonaisvaltaista, niin se edellyttää hankkeissa osapuolten erilaisten osa-alueiden asiantuntemusta, että riittävää osallistumista. Ensisijaisena työskentelytapana tulee käyttää riskienarvioinneissa työpajaa, mutta tätä voidaan tarvittaessa täydentää asiantuntija-arvioin, haastatteluiden ja kyselyiden avulla. Aikaisempien riskiarviointien käyttäminen ja kirjallisuus ovat myös mahdollisia tapoja riskien tunnistamisessa.

Ohessa on kuvattuna tiivistettynä keskeisimmät työskentelytavat:

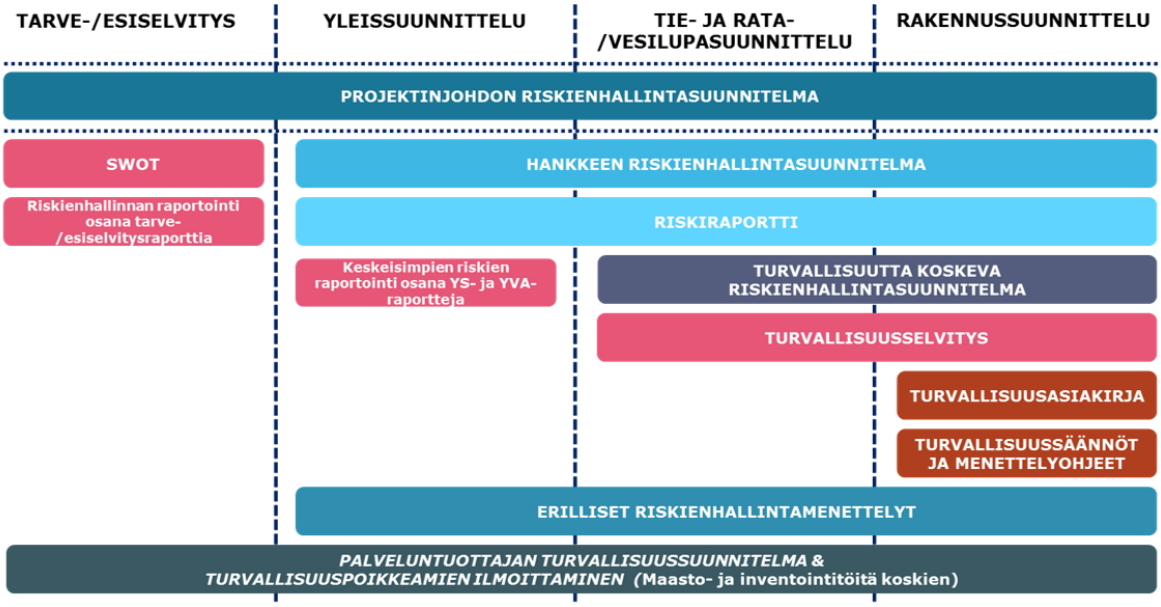
- Työpaja
  Ryhmätyötä, jossa riskienhallintamenetelmään perehtyneet muodostavat työryhmän. Työryhmässä tarvitaan eri alojen asiantuntijoita, että kohteen tuntevia tilaajan avainhenkilöitä. Lisäksi paikalle voidaan kutsua erityisalojen asiantuntijoita tiettyihin analyysitilaisuuksiin. Riskienarvioinnin vetäjän vastuulla on valita käytettävä riskienanalyysimenetelmä. Vetäjän tehtävä on myös kannustaa ryhmän keskustelua. Osallistujamäärä on tavoiteltavaa pitää kohtuullisena, sekä tilaisuuksien kesto noin puolen päivän mittaisina. Työpajojen määrä riippuu hankkeen vaiheesta ja ominaisuuksista.

- Haastattelu
  Täydentävä menettelytapa työpajalle, jonka avulla voidaan varmistaa kaikkien tarvittavien osapuolten osallistuminen riskienarviointiin. Haastattelut voidaan toteuttaa yksilö- tai ryhmähaastatteluina ja on vaadittavaa, että kysymyslista on laadittu ennalta. Tämä voi perustua esimerkiksi riskikarttaan.

- Asiantuntija-arvio
  Kahdesta neljään asiantuntijan itsenäisesti tai ryhmässä tekemä riskienarviointi. Voidaan käyttää työpajaa täydentävänä työmenetelmänä. Esiselvitysvaiheessa tätä käytetään pääasiallisena menetelmänä.

- Muut työskentelytavat
  Muina työskentelytapoina saatetaan käyttää kyselyä ja kommentointikierrosta. Kysely mahdollistaa laajan osallistujamäärän riskien tunnistamiseen ja/tai riskien todennäköisyyden ja vakavuuden arviointiin. Tulokset saadaan samassa muodossa ja ovat täten helppoja jatkotyöstettäviksi. Haasteina on vastaajamäärän jääminen pieneksi, jolloin yksittäiset näkemykset saavat ison roolin. Kommentointikierroksella saadaan osallistettua työpajatyöskentelyn ulkopuolisetkin riskienarviointiin. Riskienhallintasuunnitelma voidaan lähettää esimerkiksi kommentoitavaksi hankeryhmälle.

On oleellista tunnistaa ajoituksen merkitys riskienhallinnassa. Riskienhallinnan tavoitteet tulee tarkentaa projektikohtaisesti ja nämä tavoitteet taas säännöllisesti siirryttäessä seuraavaan hankevaiheeseen. Alla olevassa kuvassa 20 on esitetty riskienhallinnan- ja turvallisuusdokumenttien ajoitus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa.



Kuva 20. Riskienhallinta- ja turvallisuusdokumentit eri suunnitteluvaiheissa (Liikennevirasto 2017a).

Riskien käsittelyyn liittyvä tiedonkulku ja yhteistyö on varmistettava hankkeen sisällä ja myös muille siihen liittyvien tahojen kanssa. Tavoitteena on, että riskitieto kulkee koko hankkeen elinkaaren ajan eli aiemmasta suunnitteluvaiheesta siirretään riskitietoa seuraavaan toteutusvaiheeseen ja lopulta kunnossapitoon. Tähän tiedonsiirtämiseen voidaan käyttää esimerkiksi Liikenneviraston TURI-järjestelmää tai jotain muuta tarkoitukseen sopivaa toteutusta. Tiedon varastoimiseen on kiinnitettävä huomiota, jotta kaikki hankkeen osapuolet jokaisessa hankkeen eri vaiheessa kykenevät löytämään tarvittavan tiedon.

Lisäksi vuonna 2017 julkaistulla inframalliohjeella koskien tie- ja ratahankkeita pyritään luomaan selkeämpiä käytäntöjä mallinnushankkeiden läpivientiin tietomallintamisen näkökulmasta, mallipohjaisen aineiston tarkastuskäytäntöihin ja luovutettaviin sähköisiin aineistoihin sekä suunnittelu- että rakentamisvaiheessa. Ohjeilla esitellään taso, joka voidaan vaatia Liikenneviraston mallipohjaisissa hankkeissa. (Liikennevirasto 2017b.) Inframalliohje

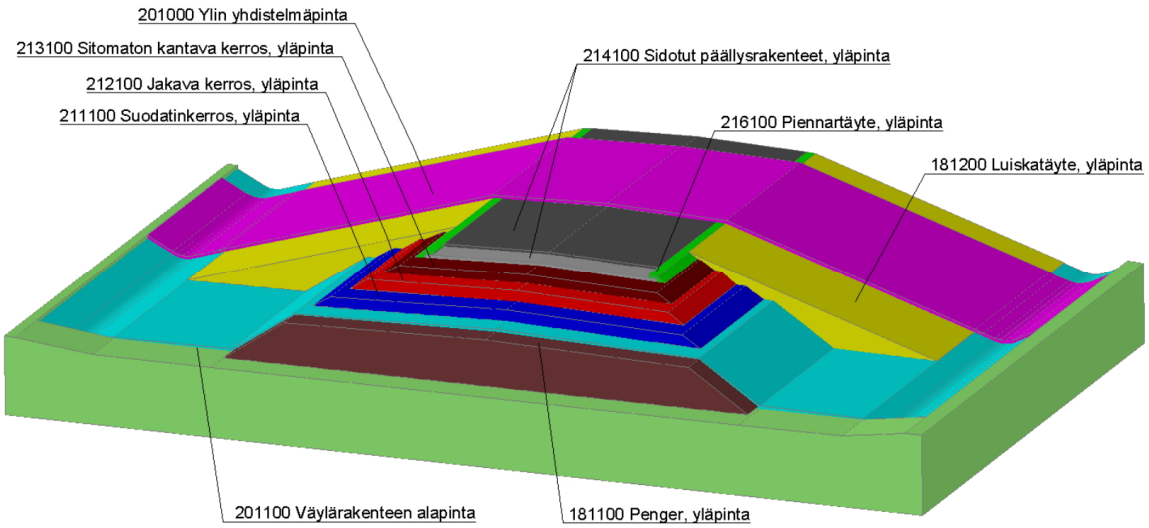
jakaantuu kolmeen osaan, joista ensimmäisessä kuvataan yleiskatsaus mallipohjaisen hankkeen eritasoisiin tietomalleihin, toisessa miten mallintaminen toteutetaan eri hankevaiheissa ja kolmannessa osassa aineistoon liittyvä laadunvarmistus.

3.1.2 BuildingSMART Finland

BuildingSMART Finland toimii suomalaisten kiinteistö- ja infra-alan omistajien ja palveluiden tuottajien muodostamana yhteistyöfoorumina. Päämääränä on muodostaa alalle yleisesti käytettäväksi standardeja ja ohjeita, että levittää tietoa tietomallintamisesta ja tukea toiminnassa mukana olevia tietomallipohjaisen prosessien käyttöönotossa. (bSF 2017a.) Senaatti-kiinteistöjen vuonna 2007 julkaisemat tietomallivaatimukset olivat lähtölaukaus koko toiminnalle. Nykyään yleiset tietomallivaatimukset löytyvät rakennus- (YTV 2012), että infra-alalle (YIV 2015b) julkaistuna.

Yleiset inframallivaatimukset 2015 jakautuvat kahteentoista eri asiakirjaan. Asiakirjat sisältävät mm. yleiset ohjeet toimintamalleista, mallinnuksen eri vaiheista, rakennemallien mallintamisen ohjeista, laadunvarmistuksesta, havainnollistamisesta, määrälaskennasta ja kustannusarvioista. Ohjeet ovat syntyneet suurimpien tilaajien tavoitteesta siirtyä infrarakentamisen tietomallintamiseen. (bSF 2017b.)

Building Smart Finlandin ”Yleiset inframallivaatimukset 2015” -julkaisun alta löytyvä InfraBIM-nimikkeistö esittää infrarakenteiden ja -mallien elinkaaren kattavat numerointi- ja nimeämiskäytännöt. Tämä nimikkeistö pohjautuu Infra2006 Rakennusosanimikkeistöön ja laajentaa sitä. (bSF 2017d.) Tällä hetkellä InfraBIM-nimikkeistö ei sisällä mitään riskienhallintaan liittyvää.



Kuva 21. Havainnekuva yksiajorataisen tien rakennepinnoista InfraBIM-nimikkeistössä (bSF 2015).

3.2 Haastattelut

Haastateltaviksi kutsuttiin kahtatoista asiantuntijaa, jotka kaikki toimivat tällä hetkellä infra-alan projekteissa haastateltavaa H1 lukuun ottamatta. Kaikki haastateltaviksi pyydetyistä suostuivat pyyntöön. Haastatteluilla pyrittiin saavuttamaan mahdollisimman laaja näkökulma tarkasteltavien kysymysten suhteen, minkä perusteella haastateltavia valikoitaessa arvostettiin heidän työnkuvien vaihtelevuutta infra-projekteissa.

Kaikki haastatteluiden 12 osanottajaa on lueteltu taulukossa 3. Haastateltavista viisi edusti infra-hankkeiden tilaajaosapuolta ja loput asiantuntijaorganisaatioita. Liikennevirasto ja ELY-keskukset ovat Suomessa suurimmat infra-hankkeiden tilaajat. Pelkästään Liikennevirasto edustaa noin 20% osuutta koko maan infrainvestoinneista ollen siten merkittävin infran tilaajaorganisaatio (Liikennevirasto 2015d). Tilaajaosapuolta edustivat haastateltavat T1-T5. Finnmap Infra, Ramboll, SITO ja VR-Track työllistävät Suomessa lukuisissa erikokoisissa infra-hankkeissa toimivia asiantuntijoita, joista haastateltavat H1-H7 koostuivat.

Taulukko 3. Haastatteluihin osallistujat, ajankohdat ja haastatteluiden kestot.

Haastateltava	Tehtävänimike	Ajankohta	Haastattelun kesto
T1	Tiensuunnittelun kehittämispäällikkö, Hankesuunnitteluosasto	28.8.2017	40 min
T2	Turvallisuusasiantuntija, Suunnittelu ja hankkeet / Hankehallinta	30.8.2017	44 min
T3	Asiantuntija, hankesuunnittelun ohjaus	31.8.2017	57 min
T4	Projektijohtaja, Projektin toteutus-osasto	31.8.2017	56 min
T5	Projektipäällikkö	27.10.2017	30 min
H1	Ryhmäpäällikkö BIM-kehitys, Kiinteistöt ja rakentaminen	25.8.2017	36 min
H2	Kehityspäällikkö	30.8.2017	92 min
H3	Ryhmäpäällikkö, Maankäyttö ja liikennejärjestelmät	11.9.2017	28 min
H4	Ratajärjestelmien asiantuntija	18.9.2017	45 min
H5	Turvallisuusasiantuntija	19.9.2017	66 min
H6	Yksikön päällikkö, Liikenneväylät	25.9.2017	47 min
H7	Johtava konsultti, InfraBIM, tiedonhallinta	26.9.2017	46 min

Jokainen haastattelu toteutettiin erillisenä. Haastattelut T1, H2, H3, H6, H7 toteutettiin kasvotusten haastateltavan kanssa; T2, T3, H1, H4, H5 videoyhteyttä käyttäen; T4, T5 puhelimen välityksellä. Haastatteluiden yhteen kysymykseen liittyvä lisämateriaali esitettiin tapaamisissa paperille tulostettuna, videoyhteydessä jaetulta näyttöpäätteeltä ja puhelinhaastatteluissa materiaali toimitettiin ennalta haastateltaville sähköisesti.

Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituna eli kaikille haastateltaville esitettiin samat tai lähipitäen samat kysymykset. Oli myös otettava huomioon viime vuosien riskienhallinnan ja tietomallintamisen käsitteiden noste infra-suunnittelun diskurssissa, jolloin saattoi odottaa, ettei haastateltava kerro suoraan kysyttäessä tietämättömyyttään kummastakaan käsitteestä. Näin ollen kysymysten välissä tehtiin yksittäisiä täsmentäviä kysymyksiä, jotta vastauksissa päästäisiin mahdollisimman syvälle siihen mitä kysymyksellä tavoiteltiin vastausmuodoksi. Kysymykset toimitettiin ennalta jokaiselle osallistujalle sähköisesti ja näin annettiin mahdollisuus haastateltavalle valmistautua haastatteluun.

Kysymykset jakautuivat kolmeen eri teemaan: 1) tietomallintaminen 2) riskienhallinta 3) riskien tietomallintaminen. Ensimmäisessä teemassa selvitettiin kuinka suuri osa haastateltavan tämän hetkisistä tai juuri loppuneista projekteista toteutetaan tietomallintamalla. Tässä pyrittiin ymmärtämään kuinka yleisiä tietomallit ovat infrahankkeissa ja miten tietomallinnus näkyy ja ei näy haastateltavalle itselleen käytännössä. Tutkimustavoitteiden kannalta

tietomalli hankkeiden suunnittelussa on välttämätön ja sen mahdollisimman laaja käyttö hankeorganisaation sisällä luo hyvän lähtökohdan riskienhallinnalle tapauksessa, jossa riskitieto yhdistetään tietomalliin.

1. Kuinka suuri osa projekteistasi on toteutettu tietomallintamalla nyt?

Toisessa teemassa selvitettiin haastateltavan kokemusta yleisesti riskienhallinnasta ja tietämystä siinä käytettävästä ohjeistuksesta ja menetelmistä. Riskitiedon välittymistä hankkeen sisällä ja hankevaiheiden välillä tiedusteltiin haastateltavilta. Vastauksista voitiin selvittää, kuinka riskit huomioitiin ja tiedotettiin hankkeen eri vaiheissa.

2. Kuinka tuttua riskinarviointi on sinulle?
3. Mitä menetelmiä ja ohjeistuksia käytätte riskienhallinnassa?
4. Miten mielestänne riskitieto kulkee projektin koko elinkaaren aikana?
5. Miten hyvin riskejä seurataan ja niistä tiedotetaan projektin suunnittelussa/toteuttamisessa? Entä kunnossapidossa?

Kolmannessa teemassa kartoitettiin, onko aiheesta keskusteltu edes epävirallisesti aikaisemmin ja onko haastateltavalla aiheeseen liittyviä ajatuksia riskien mallintamisen toteutuksen kannalta. Viimeisen kysymyksen yhteydessä hyödynnettiin oheismateriaalina (liite 2) löydöksiä erilaisten riskien tai vaarojen kuvaamisesta visuaalisesti.

6. Onko riskinarvioiden liittäminen tietomalliin noussut projekteissa esille?
7. Mitä näet isoimpana haasteena ja entä mahdollisuutena, jos riskien arviointi olisi osa tietomallia?
8. Mitä tietoa riskeistä haluaisit nähdä? Mitä riskitietoa tarvitset?
9. Mitä konkreettisia ideoita sinulla on riskien tietomallintamisen käytännön toteutukseen?

Seuraavissa kahdessa kappaleessa käsitellään ensin mitä tietoa haastatteluista saatiin ja sitten mitä johtopäätöksiä näistä voitaisiin tehdä.

3.2.1 Haastatteluiden tulokset

Haastatteluiden litteroinnit koottiin jokaisen yksittäisen kysymyksen alle, jotta voitiin kokonaisvaltaisesti tarkastella saatuja vastauksia. Litterointien pohjalta esiintyneet asiat taulukoitiin ja jokainen esiintynyt asia merkittiin vain kerran taulukkoon. Asian viereen kirjattiin, minkä haastattelun/haastatteluiden yhteydessä asia oli mainittu. Taulukot järjestettiin niin, että eniten mainintoja kerännyt asia oli ensimmäisenä ja viimeisenä vähiten mainittu asia. Haastateltavien erilaisesta ilmaisumuodosta johtuen osittain päällekkäisetkin vastaukset saattavat olla erillisinä kohtinaan. Jos haastateltava ei itse kokenut omaavansa kompetenssia vastata kysymykseen, niin tällöin haastateltava ei esiinny vastaustaulukossa. Haastatteluiden kesto oli keskimäärin 49 minuuttia, josta lyhin oli kestoltaan 28 minuuttia ja pisin 92 minuuttia.

Seuraavassa kysymyksen tulokset kuvataan ensiksi taulukossa, jonka jälkeen tuloksia avataan tekstissä tarkemmin.

Taulukko 4. Haastattelukysymyksen 1. ”Kuinka suuri osa projekteistasi on toteutettu tietomallintamalla nyt?” vastaukset ja yksittäisen vastauksen esiintyminen.

Mainittu asia	Haastateltavat
Kaikki isot hankkeet.	T1, T3, T4, T5, H1, H2, H6, H7
Ei pienemmissä hankkeissa.	T5, H1, H7
Mallinnustarkkuus vaihtelee projekteittain.	H1, H6
Ei osannut arvioida tarkalleen.	T2, H3
Noin puolet projekteista.	H2
Aivan kaikki.	H4
Keskisuurissa ja suurissa.	H5

Hyvin yhteneväisesti voidaan ensimmäistä kysymystä tarkasteltaessa todeta, että kaikki keskisuuret ja varsinkin isot infra-hankkeet toteutetaan tällä hetkellä tietomallintamalla. Ainoastaan pienemmissä hankkeissa, joita esimerkiksi ELY-keskus tilaa, saatetaan kustannussyistä käyttää perinteisempiä tapoja suunnittelussa.

T2: *”Pienemmissä hankkeissa ELY-keskus edelleen perinteisellä tavalla. 2D-suunnittelu koetaan ketterämmäksi.”*

Olemassa olevista kohteista ei välttämättä ole tietomallia aiemmin tehty, joten olisi kallista tuottaa se nyt jälkikäteen kohdetta jatkokehitettäessä. Tällöin esimerkiksi saatetaan tietomalli jättää tekemättä.

Osa haastateltavista mainitsi, että vaikka hanke toteutetaan tietomallintamalla, niin tietomalli saattaa jäädä usein paljolti suunnittelijoiden työkaluksi. Suunnittelija saattaa näyttää ainoastaan tietomallia kokouksissa, jos syntyy tarve havainnollistaa käsiteltävää asiaa suunnitelmasta. Myös yksi haastateltavista (T4) koki, että työmaakokouksissa osallistujat ovat usein niin perillä hankkeista, ettei käsiteltävän riskin paikkatietoa tarvitse juuri koskaan havainnollistaa suunnitelmista näyttämällä. Hän kuitenkin totesi, että tietomallin hyödyntämisestä tässäkin olisi lisähyötyä.

T4: *”Joskus urakoitsija näyttää tietomallista asioita, mutta varsin vähäistä.”*

H5: ” *Tietomalli näkyy hyvin vähän riskienhallinnan puolelle, tiedän vain, että tietomalli tehty.”*

Yksi liikenneturvallisuuden asiantuntija (H3) ei ollut tarkalleen tietoinen tietomalli-käsitteestä ja kertoi tietomalli-hankkeissakin saavansa ainoastaan 2D-tulosteet suunnitelmasta oman työnsä tueksi. Tässä ja kahdessa muussa haastattelussa nousi esille kysymys, mitä tietomallintamisena tarkalleen tarkoitetaan. 3D-suunnittelua kerrottiin tehdyn pitkään, mutta se eroaa olennaisesti nykymuotoisesta tietomallintamisesta.

Suunnittelijoiden käyttämän törmäystarkastelun tärkeys nousi myös haastatteluissa muutaman kerran esille, koska hankkeissa jo rakennettujen kohteiden muutokset lisäävät turhia kustannuksia ja kiristävät aikataulua. Esimerkkinä yksi haastateltava (T1) kertoi eräässä suunnitelmassa sillan perustuksien olleen suunniteltu putkiston kohdalle, jolloin putkien siirtäminen jälkikäteen olisi ollut hyvin kallista. Tietomallissa tehdyllä törmäystarkastelulla tämä suunnitteluvirhe kuitenkin vältettiin.

Taulukko 5. Haastattelukysymyksen 2. ”Kuinka tuttua riskinarviointi on sinulle?” vastaukset ja yksittäisen vastauksen esiintyminen.

Mainittu asia	Haastateltavat
Tehnyt riskienhallintaa.	T3, H2, H4, H5
On tuttua.	T2, T4, H6
Ei ole tuttua.	H1, H7
Liikenneturvallisuuden edistämistä päivittäin.	H3
On lukenut riskiarviointeja.	T1

Riskienarviointi oli käsitteenä tuttu suurimmalle osalle haastateltavista. Kahdelle haastateltavista käsite ei ollut tuttu, mutta heidän työnsä keskittyy enemmänkin hankkeissa yksittäisten asioiden konsultointiin. Neljä haastateltavista oli itse osallistunut hankkeissa riskienhallinnan toteuttamiseen.

Taulukko 6. Haastattelukysymyksen 3. ”Mitä menetelmiä ja ohjeistuksia käytätte riskienhallinnassa?” vastaukset ja yksittäisen vastauksen esiintyminen.

Mainittu asia	Haastateltavat
Liikenneviraston ohjeistuksia.	T2, T3, T4, H2, H4, H5, H6
Ei tietoinen.	T1, H7
Riippuu konsultista.	T2, H2
Omat liikenneturvallisuuden ohjeet ja pätevyys.	H3
Allianssissa laaditaan omat ohjeistukset.	H5

Lähes kaikki haastateltavat nimesivät Liikenneviraston ohjeistuksen riskienhallinnassa, mutta myös kaksi haastateltavaa eivät olleet tietoisia ohjeistuksesta tai menetelmistä. Toinen heistä (H7) vastasi myös edellisessä kysymyksessä riskinarvioinnin olevan tuntematonta. Kaksi vastaaja mainitsi, että kysymys riippuu täysin hankkeesta ja sen myötä konsultista. Allianssi-hankkeissa kerrottiin laadittavan hankkeelle yksilöidyt ohjeistukset, kuten tietomallintamisenkin tapauksessa on tyypillistä isommissa hankkeissa toimia.

H2: *”Mitkään muut tilaajat kuin Liikennevirasto ei ole ohjeistanut asiasta. Sitten joiltain kaupungilta löytyy dokumentointiohje, mutta ei menettelystä kuitenkaan.”*

Muutama haastateltavista arvioi vaihtelua projektikohtaisesti siihen, miten riskienhallintaan suhtaudutaan. Todettiin, että kokouksissa on paljon muitakin asioita, jolloin saatetaan olettaa osallistujien tutustuvan pohja-aineistoon ennalta ja kokouksessa kysytään ainoastaan kommentteja riskiarvioihin. Kokouksen puheenjohtajan suhtautumisesta on siis tällöin kiinni, miten paljon riskinarviointeihin käytetään aikaa.

T3: *”Pienissä hankkeissa riskienhallinta sisällytetty paljolti hankeryhmän kokouksiin ja kokoukset ovat täynnä muutakin asiaa, niin joskus jopa jätetään käsittelemättä. Voidaan myös olettaa, että kaikki ovat tutustuneet ennalta ja kysytään kokouksessa vain kommentteja riskienhallintaan liittyen.”*

Taulukko 7. Haastattelukysymyksen 4. ”Miten mielestänne riskitieto kulkee projektin koko elinkaaren aikana?” vastaukset ja yksittäisen vastauksen esiintyminen.

Mainittu asia	Haastateltavat
Hyvin kulkee, mutta riippuu urakoitsijasta.	T4, H5, H6
Ei osannut vastata.	H1, H7
Kulkee, mutta paljon parantamisen varaa.	T3, H2
Raportti kulkee mukana kaikissa vaiheissa.	H3, H4
Koko ajan mukana hankeryhmissä.	T1
Yhtä hyvin kuin kaikki muu suunnittelutieto eli kulkee ei tai kulje.	T2

Yksi haastateltava (T2) toi ilmi, että riskienhallinnan pitäisi olla koko projektin läpi kulkevaa toimintaa ja näin yksittäiset työpajat eivät välttämättä palvele haluttua tavoitetta riittävästi. Myös esitettiin huomiona (H4), etteivät kaikki suunnittelijoista aina osallistu riskityöpajoihin, jolloin riskien analysointi saattaa jäädä yksittäisestä suunnitelmaa toteuttavasta suunnittelijasta erilliseksi. Tällöin korostuu tiedonkulku riskityöpajan tai kokouksen ja toteuttavan suunnittelijan välillä. Yleisesti ottaen kuitenkin riskien seurantaa ja tiedottamista pidettiin kiinteänä osana projekteja, mutta kaikki haastateltavista kokivat mahdollisuuksia parantaa edelleen tätä toimintaa.

Taulukko 8. Haastattelukysymyksen 5. ”Miten hyvin riskejä seurataan ja niistä tiedotetaan projektin suunnittelussa/toteuttamisessa? Entä kunnossapidossa?” vastaukset ja yksittäisen vastauksen esiintyminen.

Mainittu asia	Haastateltavat
Ei tietoa kunnossapidosta.	T2, T3, H2, H4, H5
Ei osannut vastata.	H1, H3, H7
Käytetään päätöksenteossa vaihtelevasti.	T2, T4, H6
On osa suunnittelua.	T3, H4
Isommissa projekteissa hyvin mukana suunnittelussa.	H2

Yksikään haastateltavista ei osannut vastata riskien seurantaan tai tiedottamiseen kunnossapidon vaiheessa. Epäilynä tuotiin ilmi (T5), ettei monikaan ”Yleiset inframallivaatimukset” täyttävä infrahanke olisi vielä siirtynyt omistajan ylläpitovaiheeseen, johtuen hankkeiden pitkästä kestosta ja tavasta, jossa toteuttaja vastaa takuuajan päättymiseen asti ylläpidosta.

Taulukko 9. Haastattelukysymyksen 6. ”Onko riskinarvioiden liittäminen tietomalliin noussut projekteissa esille?” vastaukset ja yksittäisen vastauksen esiintyminen.

Mainittu asia	Haastateltavat
Ei kuullut asiasta.	T4, H1, H3
Keväällä 2017 nousi tilaajan tarjouspyynnössä esille.	T5, H2, H6
On kuullut, mutta ei muista missä.	T1, T2
Kuullut tästä diplomityöstä.	T3, H6
Muutamassa tarjouspyynnössä.	T3, H4
bSF:ssä kuullut 2015-2016.	H5, H7

Riskien tietomallintaminen oli yhdeksälle haastateltavista tuttu käsite projekteista, mutta kolme ei ollut kuullut asiasta. Haastateltavista H6 kertoi Varsinais-Suomen ELY-keskuksen vaatineen vuoden 2017 aikana yhdessä tarjouspyynnössä riskien tietomallintamista.

H6: *”Tilaaja vaati ensimmäisen kerran elokuussa 2017, että pitää mallintaa.”*

Kolme haastateltavaa kertoi asian nousseen tarjouspyynnöissä esille vuoden 2017 aikana, mutta ei kuitenkaan vaatimuksena. Yksi heistä (H2) oli tämän johdosta tutustunut aiheeseen tarkemmin ja selvittänyt kansainvälistä tutkimusta asiaa kohtaan. Heidän yrityksensä ei ollut voittanut tätä tarjouskilpailua, joten riskien tietomallintamiseen ei ollut tämän jälkeen palattu. Asia koettiin pitkälti myös ohjelmistokysymykseksi ja heillä oli aikomus ottaa tämä jossain vaiheessa puheeksi ohjelmistovalmistajan kanssa käytävissä kehittämiskeskusteluissa. Suunnitteluala mainittiin myös samassa haastattelussa olevan niin kilpailtu, ettei mahdollisuutta paneutua aiheeseen ole ennen kuin joku on siitä valmis maksamaan. Riskien kirjaaminen tietomalliin tuottaisi lisätyötä suunnittelijalle ja täten sitä ei ole mahdollista toteuttaa nykyisellä projektiin käytettävällä tuntimäärällä. Arviota siitä paljonko lisätunteja tarvittaisiin, ei kyseinen haastateltava osannut arvioida, koska toimenpide on vielä niin määrittelemätön.

Yksi haastateltavista (H5) kertoi olleensa mukana kahdessa Liikenneviraston väylähankkeessa vuonna 2016, jossa paikkasidonnaiset riskit lisättiin hankkeen tietomalliin. Nämä hankkeet olivat Ainola-Purola lisäraide ja Keravan tavaraliikenteen lisäraide. Molemmissa hankkeissa osananottajat antoivat positiivista palautetta tietomallin käyttämisestä riskienhallinnan apuna.

H5: *”Keravan projektissa koimme mallin hyödylliseksi varsinkin vaarojen tunnistamisvaiheessa, jossa pystyttiin näyttämään, että mikä kohtaa kulloinkin käsiteltiin. Pystyimme myös mittaamaan asioiden etäisyyksiä. Tuolloin kaikki antoivat positiivista palautetta tietomallin käyttämisestä.”*

Heikkouksina mallintamisessa oli työläys, koska toimenpide piti tehdä täysin manuaalisesti tietoa malliin yksi kerrallaan lisäämällä. Myös tiedonjakaminen koettiin ongelmaiseksi.

H5: *” Kaksi vuotta sitten riskien mallintaminen oli työlästä ja vaikeaa, eivätkä ne olleet linkitettyinä muiden malleihin. Kukaan ei nähnyt riskejä ellei avannut meidän mallia.”*

H5: *”Yksi riskiobjekti kesti noin 5-10 min laittaa tietomallikoordinaattorilta malliin ja noin puolille riskeistä saatiin sijainti.”*

Taulukko 10. Haastattelukysymyksen 7. ”Mitä näet isoimpana haasteena ja entä mahdollisuutena, jos riskien arviointi olisi osa tietomallia?” vastaukset ja yksittäisen vastauksen esiintyminen.

Mainittu asia	Haastateltavat
Havainnollistaminen.	T3, T5, H1, H2, H3, H5, H6, H7
Tietotekniset haasteet/osaaminen.	T3, T4, T5, H4, H5
Ilmoitus suunnittelijalle riskistä.	T1, T2, T3, H2
Haaste, että riskin sijaintia ei pysty määrittämään.	T3, T5, H4, H7
Riskit, kun tieto kahdessa paikassa.	T1, H1, H4, H7
Totuttuihin tapoihin juuttuminen haasteena.	T5, H1, H4
Nimikkeistö välttämätön.	T1, H1, H2
Mahdollisuus, että johtaisi kattavampaan riskienhallintaan.	T5, H2, H5
Tiedon pysyminen paremmin projektin eri vaiheissa.	T2, H5, H6
Toteutus isoin haaste.	H2, H4
Tietomallien käytön pitäisi yleistyä hankkeen eri osapuolilla.	T3, H4
Työmäärä kasvaa.	H6
Pilvipohjaiset ratkaisut tulossa.	H1

H3: *”Suunnittelijat ehkä hahmottaisivat paremmin 3D-mallista kirjattuja riskejä.”*

Pilottihankkeen tilaaja (T5) Varsinais-Suomen ELY-keskuksesta toivoi, että riskien tietomallintamisesta olisi hyötyä riskien kokonaisuuden hahmottamisessa ja tätä kautta parempana palvelutasona käyttäjille. Hän korosti, ettei riskien tietomallintaminen saa olla itsetarkoitus, vaan että sen tulee näkyä tien käyttäjälle parempana palvelutasona. Haastateltava näki tietomallin erinomaisena mahdollisuutena riskitiedon siirtämiseksi seuraavaan hankevaiheeseen.

Tietotekninen osaaminen nostettiin haasteeksi tavoiteltaessa tietomallien laajempaa käyttöä hankkeiden organisaatioissa. Osaamisen rinnalla suunnitteluohjelmistojen raskaus koettiin ongelmana, mutta myös todettiin nykyisin olevan saatavilla tietomalleille kevyempiä katseluohjelmia. Facility management -tietomalleihin perehtyneen haastateltavan (H1) mukaan tietomalli rakennetaan usein pitkälti vain linkiksi tarkempaan informaatioon, eikä kaikkea tietoa pyritä viemään malliin ja tällöin malli pysyy myös kevyempänä jakaa ja tarkastella vanhemmillakin laitteilla. Myös vanhat juurtuneet toimintatavat koettiin mahdollisina haasteina uusien toimintatapojen suhteen ja nähtiin varttuneempien ammattilaisten useammin haluavan vielä paperisia suunnitelmia tietomallien rinnalle.

Taulukko 11. Haastattelukysymyksen 8. ”Mitä tietoa riskeistä haluaisit nähdä? Mitä riskitietoa tarvitset?” vastaukset ja yksittäisen vastauksen esiintyminen.

Mainittu asia	Haastateltavat
Merkittävimmät riskit.	T2, T4, H4
Riskihistorian.	H2, H4, H6
Riskin kuvaus.	H7
Riskin merkittävyys värillä.	H6
Aikaan sidotut havainnollisesti malliin.	T3

Kaikki haastateltavat eivät osanneet vastata mitä riskitietoa haluaisivat nähdä, mutta yleisimpinä vastauksina mainittiin hankkeen merkittävimmät riskit ja riskihistoria eli poistuneet riskit, joita ei aina seuraavaan hankevaiheeseen siirretä. Tätä tietoa voidaan kuitenkin joissain tilanteissa hyödyntää.

Taulukko 12. Haastattelukysymyksen 9. ”Mitä konkreettisia ideoita sinulla on riskien tietomallintamisen käytännön toteutukseen?” vastaukset ja yksittäisen vastauksen esiintyminen.

Mainittu asia	Haastateltavat
Automatiikkaa varoittamaan riskeistä.	T1, H6
Eri suuruiset riskit näkyviin.	T2, H7
Automatiikalla riskipaikkojen löytäminen mallista.	H3, H7
Riskit omalle tasolle mallissa.	T4
Liikenneonnettomuudet samaan mallin.	H6
Visuaaliset huomiot varoittamaan riskeistä.	T1
Linkki TURI:iin mallista.	H5

Viimeisen haastattelukysymyksen yhteydessä esiteltiin oheismateriaalina Arizonan yliopiston luomaa havainnollista karttaa Nepalin, Tiibetin ja Kiinan alueen lumivyöryjen todennäköisyyksistä, Strafican liikenneonnettomuuksien GIS-pohjaista havainnepalvelua, VR-Trackin laatimaa menettelyohjetta riskien mallintamisesta tietomalleihin, sekä viimeisenä Turner Construction -yrityksen luomaa lisäosaa Solibri Model Checker -ohjelmistoon. Tä-

män lisäosan avulla voidaan määriteltyjen sääntöjen perusteella hakea vaaranpaikkoja tietomallista värjäten ne punaisiksi ja antaen virheilmoituksia vaaroista käyttäjälle. Kuvat löytyvät liitteestä 2 ja näiden tarkoitus oli herättää haastateltavissa ajatuksia riskien tietomallintamisesta visuaalisesta näkökulmasta tarkasteltuna. Moni haastateltava toikin ilmi vapaassa ideoinnissa mahdollisuutta riskien tietomallintamisen automatiikkaa kohtaan, jossa esimerkiksi suunnittelija saisi varoituksen, jos jokin riski on toteutumassa. Tätä samaa asiaa toivat neljä haastateltavaa esiin jo kysymyksessä seitsemän. Toivottiin myös automatiikkaa, jossa ohjelma etsisi suoraan riskejä tietomallista törmäystarkastelun kaltaisesti. Riskienhallinnan nykyiset menetelmät ovat olleet käytössä pitkään, joten kaikki kehittyminen koettiin positiivisena.

H2: *”Kymmenessä vuodessa ei ole riskienhallinnassa juuri mitään tapahtunut.”*

Alle on koottu tutkimuksen kannalta haastatteluissa eniten huomiota herättäneet asiat:

- Tietomallintaminen enimmäkseen käytössä vain keskisuurissa ja suurissa hankkeissa.
- Kehitettävää tietomallien ottamisessa laajempaan käyttöön projektin osanottajille.
- Haasteena hankkeiden osapuolten osaaminen käyttää tietomalleja.
- Tieto poistuneista riskeistä myös tärkeä säilyttää.
- Vähintään merkittävimmät riskit haluttiin nähdä tietomallissa.
- Vasta kahdessa hankkeessa toteutettu riskien tietomallintamista Suomessa.
- Haaste ottaa käyttöön uudet toimintatavat vanhoja toimintatapoja korvaten.

3.2.2 Haastatteluiden johtopäätökset

Suomessa kaikissa isoimmissa väylähankkeissa tilaajana on lähes poikkeuksetta Liikennevirasto tai ELY-keskus ja heidän ohjeistuksissa vaaditaan tietomallintamista. Näin ollen tietomallintamisen yleisyys keskisuurissa ja isoissa hankkeissa oli odotettavissa. Tärkeä huomio muutamalta haastateltavalta oli, että tietomallintamallakin toteutetuissa hankkeissa tietomalli näyttäisi pitkälti jäävän rajatun joukon työkaluksi. Tähän mainittiin syyksi osin osaaminen ja totuttu tapa toimia. Koska tietomallit eivät infra-alalla ole vielä juuri koskaan pilvipalveluina, niin tämä voinee myös hidastaa niiden käyttöä. Pilvipalveluna toteutettuna tietomallilla olisi aina yksi sijainti ja mallista löytyvää tietoa voitaisiin aina pitää ajantasaisena. Infra-rakentamisessa 3D-suunnittelu on ollut jo pitkään käytössä, koska esimerkiksi maanrakennuskoneet on koneohjausmallin ja kuljettajan avulla saatu kaivamaan suunnitelman mukaisesti. Tätä erään haastateltavan (T1) mukaan on hyödynnetty jo noin 10 vuotta.

Riskinarviointia toteutetaan nykyisin suurimmassa osassa infra-hankkeissa, joten se käsitteenä oli lähes kaikille haastateltaville tuttu. On selvää, että hankkeissa useat eri aihepiirit kilpailevat ajankäytössä keskenään ja näin kokouksien puheenjohtajilla on valta painottaa tiettyjä kysymyksiä enemmän kuin toisia. Näin ollen riskienhallinnan erillisyys omina asiakirjoinaan voidaan nähdä haittaavana tekijänä käsittelyn kannalta. Jos riskienhallinta olisi osa tietomallia, niin aihealuetta olisi vaikeampi sivuuttaa projektityöskentelyssä. Tämä väite perustuu täysin oletukselle, että tietomalli olisi kokouksissa ja niiden ulkopuolella kaikkien osapuolten käytössä aktiivisesti, jolloin riskienhallinta olisi tätä kautta aktiivisesti läsnä.

T5: *”Tätä (riskien tietomallinnusta) ei tehdä riskiarvioiden vuoksi, vaan että se näkyisi tien käyttäjälle näillä järjestelyillä parempana palvelutasona.”*

Haastateltavien nostamista haasteista moni on varsin aiheellinen. Suurempi mallinnustyö, osaamisen tarve mallintajalta ja käyttäjältä, negatiivinen suhtautuminen uusiin toimintatapoihin ja tietomallissa lisääntyneen informaation paljous ovat kaikki vakavasti otettavia haasteita. Kukaan haastateltavista ei kuitenkaan suhtautunut mihinkään edellä mainituista niin, että haaste olisi ylitsepääsemätön. Riskitiedon yhdistämisellä tietomalliin nähtiin olevan myös selviä etuja kohdentamisesta saatavan havainnollisuuden ja tietomallin kasvavan hyödyntämisen avulla, sekä mahdollisen tulevaisuuden älykkyyden ja automaation suhteen. Yksi haastateltavista muistutti, ettei tietomallintamisestakaan nykyään saatavissa olevia hyötyjä osattu aiemmin ennustaa.

H2: *”Mitenkään kaikkia tietomallintamisesta saatavia hyötyjä ei osattu ennustaa, joten miten voisimme nyt tietää kaikki riskienhallinnalle syntyvät hyödyt riskejä tietomalliin linkitettäessä.”*

Vain yksi haastateltavista toi ilmi, että tietomalli toisi tiedon siirrettävyyteen luotettavuutta hankevaiheiden välillä. Tietomallintamisen yhtenä tavoitteena on kuitenkin tukea rakennusprosessia kaikissa elinkaaren vaiheissa mahdollistaen juuri tiedon tehokkaan hallinnan (Eastman et al. 2011).

Haastateltavien määrä (12) oli pieni vahvojen johtopäätöksien tekemiseksi. Myös haastateltavien työnkuva vaihteli, joten saman työnkuvan näkökulmasta ei saatu vahvistusta mielipiteiden tueksi. Kaikkien haastatteluissa tulleiden näkemyksien voidaan katsoa kuitenkin olleen samansuuntaisia. Isoin haaste oli haastatteluissa saada haastateltava ymmärtämään mistä riskien tietomallintamisessa voisi olla kyse. Tietomallit olivat haastateltaville etäisiä, joten tietomallin hyödyntämiseen liittyvät mahdollisuudet riskien kohdalla olivat tällöin myös vaikeita kysymyksiä. Näihin syihin perustuen haastatteluilla saavutettiin hyvät pohjatiedot tälle tutkimukselle, mutta ei kokemukselliseen tietoon pohjautuvia vastauksia tutkimuskysymyksiin. Ainoastaan yksi haastateltava (H5) pystyi vastaamaan riskien tietomallintamisen toteutuksen, hyötyjen ja haasteiden kannalta haastattelun kysymyksiin.

3.3 Lomakekysely

Kirjallisuusselvityksen ja kansallisesti toteutetun haastattelututkimuksen tueksi haluttiin kansainvälistä tietoa alan toimijoilta. Tätä varten luotiin sähköinen seitsemän kohtainen lomake (Liite 3.), jossa ensiksi kartoitettiin vastaajan taustietoja ja vasta sitten kysyttiin mahdollisista havainnoista riskien tietomallintamiseen liittyen.

Lomake lähetettiin Nordic Infra Client väyläviranomaisille ja jäsenille BuildingSMART Nordic chapter board ja BuildingSMART Infrastructure Room Steering Committee:lle, että kahdelle Ramboll Tanskan infrapuolen riskienhallinnan toimijalle. Vastausaikaa annettiin ensiksi viikko, jota jatkettiin viikolla vähäisestä vastausmäärästä johtuen. Pidennetystä vastausajasta lähetettiin jokaiselle henkilölle tieto sähköpostilla. Yhteensä 25:stä lomakekyselyn vastaanottajasta yhdeksän reagoi lähettämääni viestiin ja näistä seitsemän henkilöä vastasi lomakekyselyyn. Kaksi viestiin vastannutta ilmoittivat työskentelevänsä kyselyn aihepiirin ulkopuolella ja kokivat olevansa täten pätemättömiä vastaamaan kyselyyn. Kaikki seitsemän kyselyyn vastannutta ovat lueteltuina taulukossa 13 maittain järjestettynä. Kuitenkaan kaikki lomaketutkimuksen täyttäneet eivät olleet vastanneet kaikkiin kysymyksiin.

Taulukko 13. Vastaajan maa, edustama yritys, rooli, työskentelysektori ja vastausajankohta.

Maa	Edustama taho	Rooli	Sektori	Aika
Denmark	Rambøll Denmark	Head of department	Infra	1.11.2017
Denmark	Gravicon	BIM consultant	Architec.	3.11.2017
Denmark	Banedanmark	Head of BIM Implementation	Infra	10.11.2017
Denmark	The Danish Road Directorate	Road engineer	Infra	16.11.2017
Estonia	Ministry of Economic Affairs and Communications	Estonian Head of Digital Construction	All sectors	16.11.2017
Netherlands	Gobar Consulting Group	Director	Infra	5.11.2017
Norway	Nye Veier AS	BIM-strategy coordinator	Infra	13.11.2017

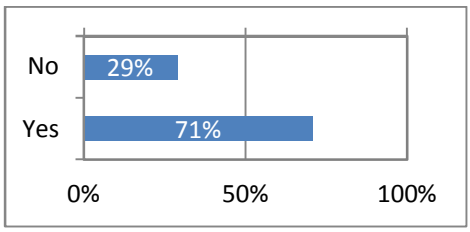
Lomakyselyn ensimmäisessä kysymyksessä taustatietojen jälkeen kysyttiin tietomallipohjaisten projektien osuutta kaikista vuoden aikana olleista projekteista.

1. How many percent of your projects have been done with BIM this year?

Vastauksissa viiden vastaukset sijoittuivat 60-100% välille ja vain yksi vastaajista vastasi 10%. Tässä kohtaa ei kysymystä laajennettu tiedustelemalla käynnissä olleiden hankkeiden laajuutta tai määrää, joten on mahdotonta täysin verrata vastauksia haastattelututkimuksen vastauksien kanssa.

Toisessa kysymyksessä kysyttiin, että onko vastaaja kuullut tai keskustellut itse tietomallin käyttämistä riskienhallinnassa.

2. Have you heard/discussed the possibilities to use risk management with BIM?



Enemmistö vastaajista (71%) eli viisi vastasi kysymykseen myöntävästi ja kaksi vastaajaa kieltäen. Myöntävien vastauksien määrää voidaan pitää varsin suurena siihen nähden, että kaikki kansainvälinen tutkimus oli varsin uutta ja myös varsin määrällisesti vähäistä. Vastauksesta ei ole kuitenkaan nähtävissä, miten vastaaja on ymmärtänyt ”risk management” termin ja ymmärretäänkö tässä esimerkiksi törmäystarkastelu riskienhallinnaksi tietomallin avulla.

Seuraavassa kysymyksessä pyrittiin avaamaan edellisen kysymyksen kyllä vastanneiden vastauksia siltä pohjalta, että millainen tilanne on ollut kyseessä.

3. If you answered YES, what kind of dialogues have you heard/participated? e.g. informal discussion, project, research

Vastaajat mainitsivat tutkimukset, konferenssit, törmäystarkastelun, simulaatiot vaarallisista toiminnoista ja epäviralliset keskustelut. Kaikki vastaukset olivat erilaisia, eikä yksikään teema toistunut useammassa vastauksessa.

Kysymyksessä neljä kysyttiin haasteista riskitiedon upottamisessa tietomalleihin riippumatta siitä oliko asia yhtään vastaajalle tuttu, mutta silti kuusi henkilöä vastasi kysymykseen. Ohessa myös kysyttiin projektin osanottajien mahdollisuuksia käyttää tietomalleja. Tämä jatkokysymys pohjautui haastatteluissa nousseeseen asiaan tietoteknisistä rajoitteista hankkeiden osanottajien suhteen avata tietomalleja omilla tietokoneillaan.

4. What kind of challenges would you perceive in embedding risk information into BIM models? Here we mean such risk information that is easily locatable to precise coordinates or areas. Have the project participants enough and correct tools available to use BIM models?

Yksi vastaajista vastasi tietävänsä tietomallintamisesta liian vähän vastatakseen kysymykseen. Eräs vastaaja mainitsi, että vain suunnittelijat pääsevät tietomalliin käsiksi. Heillä asiantuntijat saavat vain dokumentoinnin ja raportin PDF-formaatissa eli 2D-informaationa. Muutamassakin vastauksessa mainittiin tiedon puute asiasta eli halu käyttää tietomalleja monipuolisemmin. Kuten kysymyksessä kolmekin mainittiin, niin työmaaturvallisuuden varmistaminen kaiteiden suunnittelulla, aukkojen tunnistamisella ja nosturin liikettä simuloimalla oli erään vastauksessa.

Viimeisessä kysymyksessä pyrittiin löytämään ideoita edellisessä kysymyksessä mainitun riskitiedon kytkemiseksi tietomalliin.

5. Do you have ideas how to realize (implement) integration?

Viidennen kysymyksen vastaukset yllättivät siltä osin, että vasta tämän kysymyksen kohdalla syntyi vahvempi tunne, että vastaajista viisi olisi perillä aiheesta jollain tasolla. Vastauksissa mainittiin perustuminen IFC-standardiin ja openBIM:iin, suositukset välttää riskitiedon upottamista järjestelmien päivittymisestä johtuen, pitkät keskustelut asiantuntijoiden kanssa aiheesta, rakennusorganisaation vaateet sopimuksissa tästä ja halut näyttääkseen BIM:in hyödyt paremmin vielä riskienhallinnassa.

Yhteenvetona lomaketutkimus antoi vihjeitä riskien tietomallintamisen aiheen ajankohtaisuudesta kansainvälisemminkin ja ettei aihe ollut täysin vieras vastaajille. Kuitenkaan mitään konkreettisia esimerkkejä riskien visuaalisista toteutuksista tai ylipäätään riskitiedon kytkemiseksi tietomalliin ei mainittu. Vastauksien kirjoitetun kielen tasosta oli myös pääteltävissä, että yhteisen äidinkielen puutteella saattoi olla vaikutusta kysymysten ymmärtämisen ja vastauksien kirjoittamisen suhteen.

3.4 Pilotointi

Konstruktiivisen tutkimuksen prosessissa ratkaisun tuottamisen jälkeen suoritetaan testaus ja soveltuvuuden sekä jatkokehityksen arviointi. Pilotoinnilla testattiin kansainvälisistä tutkimuksista ja muista löydöksistä rakentunutta ideaa riskien tietomallintamiseksi. Ratkaisu ei

ollut pilotoinnin alkaessa täysin selvä, joten sitä kehitettiin pilotoinnin aikana. Alaluvussa 3.4.4 käsitellään ratkaisun soveltuvuutta ja mahdollisia avoimeksi jääneitä asioita.

Pilotointiin soveltuva hanke löytyi Liikenneviraston asiantuntijoiden avulla. Haasteena oli diplomityön kireä puolen vuoden aikataulu vuoden 2017 aikana ja infrahankkeiden tyypillisesti pitkä kesto ja monivaiheisuus. Näin ollen pilotti ei voinut olla hankekooltaan iso, jotta hankkeessa olisi määrällisesti vähemmän riskejä mallinnettavana ja hankkeen aikataulu olisi lyhyempi. Haastatteluiden pohjalta saatu arvio yhden riskin mallintamiseksi oli 5-10 minuuttia, joten esimerkiksi kahden sadan riskin mallintaminen olisi ollut isohko lisäpanos hankkeen toteuttavalle organisaatiolle. Hankkeen koon vaatimuksena oli riittävä suuruus, että suunnittelussa hyödynnettäisiin tietomallintamista. Tilaajan asettamista vaatimuksista oli myös löydyttävä suositus tai vaade riskienhallinnan huomioimisessa tietomallinnuksessa.

Pilotoinnille asetetut tavoitteet pohjautuivat diplomityön tutkimuskysymyksiin 1, 2 ja 3. Nämä tutkimuskysymykset olivat:

1. Pitäisikö hankkeissa tunnistettuja riskejä kuvata tietomalleissa?
2. Mitä hyötyjä riskien tietomallintaminen voisi antaa riskienhallinnalle?
3. Mitä mahdollisia esteitä käytännön toteutukselle on?

Tavoitteiden toteutumista arvioitiin teemahaastattelulla, joka toteutettiin mallinnuksen valmistuttua hankkeen suunnittelusta vastaavan Finnmap Infran tiloissa suunnittelijan, riskienhallinnan asiantuntijan ja riskienhallinnalle työkalun kehittäneen asiantuntijan kanssa. Vuoropuhelua riskien tietomallintamisesta oli käyty työkalun kehittäjän Markku Pienimäen kanssa jo parin kuukauden ajan, mutta teemahaastattelu järjestettiin vasta, kun tapa kuvata riskejä, työkalu mallintamiselle ja itse mallintaminen oli saatettu päätökseen marraskuussa 2017. Finnmap Infran tavoite alusta-alkaen riskien tietomallintamisessa oli riskienhallinnan kehittäminen tietomallintamisen keinoin pelkän graafisen ja uuden menetelmän sijasta. Teemahaastattelussa käsiteltävät aiheet olivat seuraavat:

1. Kuinka suuri osa hankkeen riskeistä pystyttiin mallintamaan?
2. Oliko mallintamisesta projektin kannalta kuinka iso työmäärä?
3. Onko riskien kohdistamisella tietomalliin riskienhallintaa kehittävä vaikutus?
4. Miten riskien näkeminen tietomallissa muuttaa tilannetta perinteiseen riskienhallintaan verrattuna?
5. Mitä haasteita riskien tietomallintamisessa kohdattiin?
6. Mitä kehitysideoita tälle nykyiselle ratkaisulle voisi olla?
7. Mitkä voisivat olla jatkotutkimuksen kohteet?

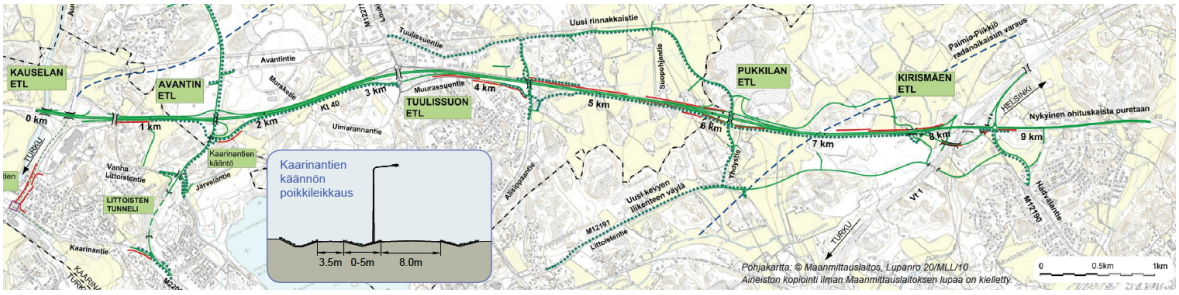
Kysymyksiä ei käyty järjestyksessä läpi ja niiden välissä myös sivuttiin aiheita, mutta jokainen kysymys kartoitettiin monipuolisesti.

3.4.1 Pilotoinnin kohteen kuvaus

Varsinais-Suomen ELY-keskuksella oli käynnistynyt alkuvuodesta 2017 ”E18 Turun kehätien parantaminen välillä Kausela–Kirismäki” hanke, jossa vaatimuksena oli riskien vieminen tietomalliin. Hankkeen ensimmäinen riskinarviointi oli toteutettu elokuussa 2017 ja tiesuunnittelua toteutettiin tämän diplomityön aikana syksyllä 2017. Riskienarvioinnin työpajassa oli tietomallia hyödyntäen luotu riskienhallintasuunnitelma, mutta riskien kohdistami-

nen tietomalliin suoritettiin vasta lokakuun lopussa 2017. E18 Kausela–Kirismäki suunnittelun toteuttajana toimi Finnmap Infra Oy, joka on infra-alan suunnittelutoimisto Helsingissä.

Kausela–Kirismäki hankkeen tiesuunnitelma valmistuu huhtikuussa 2018 ja toteuttamisvalmiudeksi on määritelty vuosi 2018. Rakennusurakka toteutetaan vuosien 2018–2021 välisenä aikana. Ensimmäisen vaiheen kustannusennuste on vuoden 2017 arvion mukaan 30 miljoonaa euroa ja koko hankkeen rakentamiskustannukseksi on arvioitu 65 miljoonaa euroa. Kyseessä on 9 kilometriä pitkä tiejakso väliltä Kausela–Kirismäki E18 Turun kehätiellä (kuva 22). Tieosuus on osa kansainvälistä TEN-T Skandinavia-Välimeri ydinverkkokäytävää, joka ohjaa liikennettä Turun ja Naantalin satamiin. Tällä hetkellä tieosuus ei täytä TEN-T standardia johtuen siitä, että se on tällä hetkellä kaksikaistainen ja tasoliittymillä toteutettu. (Varsinais-Suomen ELY-keskus 2017a.)



Kuva 22. E18 Turun kehätien parantaminen välillä Kausela–Kirismäki (Varsinais-Suomen ELY-keskus 2017b).

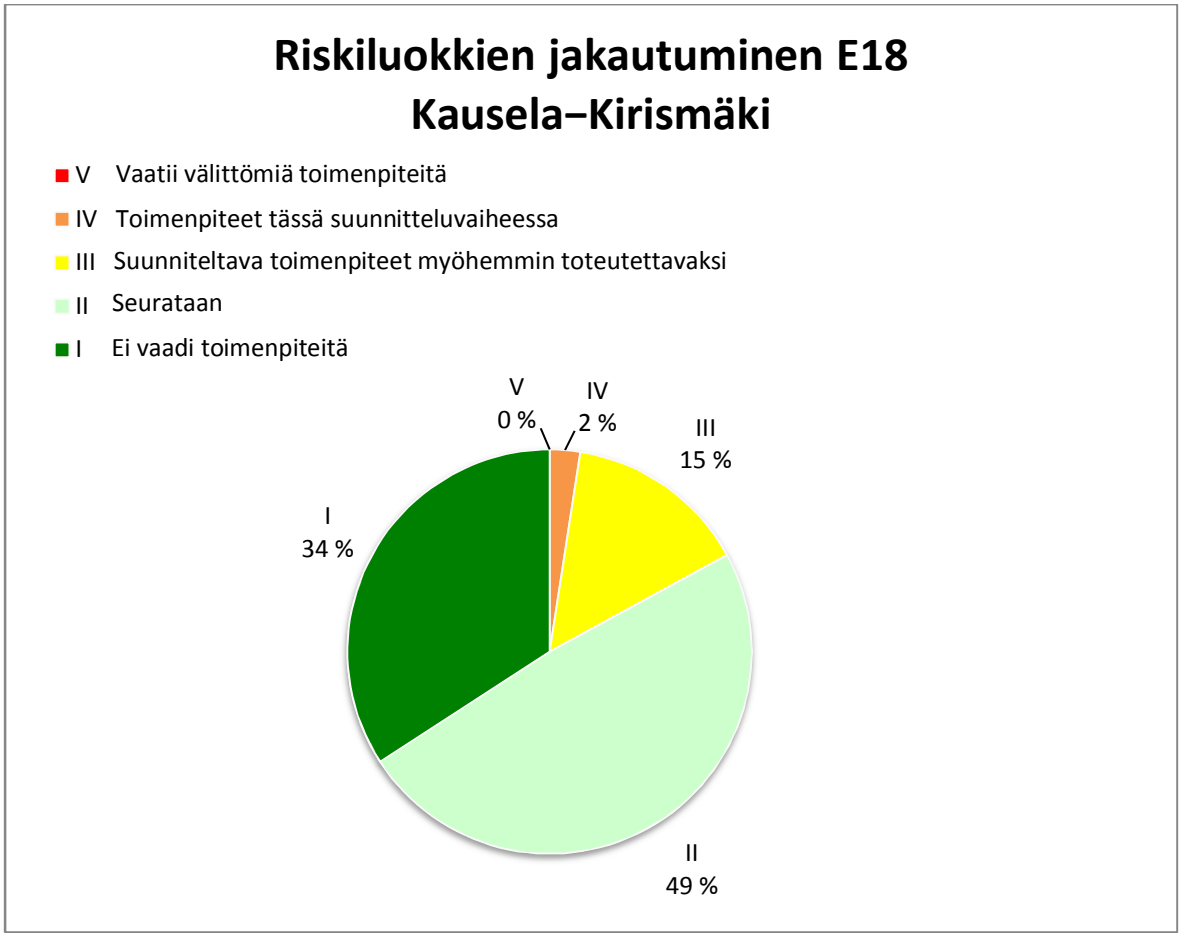
Päämääränä on kehittää tiestä nelikaistainen, eritasoliittymin varustettu väylä, jota täydennetään lisäksi yhtenäisellä kevyen liikenteen ja rinnakkaisteiden verkostolla. Nykyisen liikennemäärän ennustetaan kasvavan noin kaksinkertaiseksi vuoteen 2030 mennessä eli noin 25 000 ajoneuvoon vuorokaudessa. Tästä määrästä raskaanliikenteen osuus on suuri. Suunnitelmassa pyritään myös parantamaan kehätien liikenneturvallisuutta. (Varsinais-Suomen ELY-keskus 2017a.)

3.4.2 Hankkeen riskit

Hankkeessa oli tunnistettuna 41 kpl riskejä ja ne jakaantuivat seuraaviin Liikenneviraston infrariskikartan (Liikennevirasto 2012) kategorioihin:

1. rakennushankkeen luonne
2. rakennushankkeen olosuhteet
3. rakennushanketta edeltävät asiat
4. prosessi
5. lähtötiedot
6. ratasuunnittelu
7. muut suunnitteluun liittyvät
8. tieliikenne
9. kevyt liikenne
10. tietoliikenne
11. kaivutyöt
12. korkealla työskentely
13. sähkötapaturmavaaralliset työt
14. hukkumisvaaralliset työt
15. räjäytys- ja louhintatyöt
16. nostot
17. työt tie-, katu- tai rautatiealueella
18. työnaikainen hoito ja ylläpito
19. melu
20. pinta- ja pohjavedet
21. maisema ja kulttuuriympäristö
22. luonto ja luontoarvot
23. tieliikenne

Jokaiselle riskille oli annettu toimenpideluokka arvojen 1–5 väliltä (kuva 23). Näille arvoille on annettu väri, joka helpottaa riskien hahmottamista. Tämä luokittelu pohjautuu Liikennevirasto kehittämään riskimatriisiin (Liikennevirasto 2012).



Kuva 23. Ympyrädiagrammi E18 Kausela–Kirismäki hankkeen riskien jakautumisesta. Suurin osa hankkeen riskeistä oli ainoastaan seurantaa vaativia (luokka II 49%, n=20) ja vain 2% vaativat toimenpiteitä (n=1), jotka suunnitelmassa on raportoitu. Hankkeessa ei ole tunnistettu yhtään välittömiä toimenpiteitä vaativaa riskiä.

Jokaisella hankkeen riskillä on numero, nimi, vaaratilanteen kuvaus, todennäköisyys, vakavuus, toimenpideluokka, toimenpide-ehdotus ja vastuutaho kuvan 24 osoittamalla tavalla. Riskilistaus löytyy kokonaisuudessaan liitteestä 4.

RISKIENHALLINTASUUNNITELMA, TURVALLISUUS
E18 Turun kehätie
Vesa Virtanen, Antti Kärki, Jaana Kalliolaakso, Lauri Harjula, Mikko Erjo
24.8.2017

V luokka = vaatii välittömiä toimenpiteitä
IV luokka = toimenpiteet tässä suunnitteluvaiheessa
III luokka = suunnitettava toimenpiteet myöhemmin toteutettavaksi
II luokka = seurataan

Copyright © Finnmap Infra Oy 2017

Rivikorkeus (ctrl+F2)

Nro	VAARA / ONGELMA / HÄIRIÖ	VAARATILANTEEN KUVAUS	Todennä-köisyys	Vakavuus	TP-luokka	VARAUTUMINEN / TOIMENPIDE-EHDOTUS / SEURANTA	Vastuutaho	Päiväys
	1. KOHDE							
	1.1. Rakennushankkeen ominaisuudet							
	1.2. Rakennushankkeen luonne							
1	Lähellä sijaitseva asutus ja rakennukset sekä käytössä olevat tiet aiheuttavat ruuhka-ajan ja taajaman läheisyyden vaatimia rajoituksia	Ruuhkan synnyttämät rajoitukset hidastavat työntekoa.	4	3	III	Rajoitusten huomioon ottaminen aikataulutuksessa.	Päätoteuttaja	
2	Suunnittelun tai rakentamisen aikana löytyvät muinaisjäännökset ja/tai historiallisen ajan kohteet.	Hankkeen viivästyminen, suunnitelman muutokset, mahdolliset lisäkustannukset.	3	2	II	Lisätutkimustarpeita ohjelmoitu ja suoritettu lisäinventointien muodossa. Vuoropuhelu Museoviraston kanssa.	Tilaaja, suunnittelija, päätoteuttaja	
3	Vaiheittain rakentaminen, suunnittelu	Suunnittelussa on varauduttu vaiheittain rakentamiseen. Toteutaminen päätetään tehdä lähtökohdasta (30 M€) poikkeavasti, jos hanke saa lisärahoitusta. Tästä seuraa aikatauluriski suunnittelun valmistumiselle.	3	1	I	Tiesuunnittelussa keskitytään lopputilanteen ratkaisuihin ja ST-asiakirjoissa 1 toteutusvaiheen ratkaisuihin. Rahoitustilanteen muuttuminen vaatii lisäresursseja suunnitteluun.	Tilaaja, suunnitelija	
4	Vaiheittain rakentaminen, toteuttaminen	ST-asiakirjat laaditaan koskien ensimmäistä toteutusvaihetta (30 M€), jonka jälkeen saadaankin lisärahoitus. ST-asiakirjat on muutettava kattamaan laajempi toteutus. Seuraa aikatauluriski ST urakan aloitukseen.	3	2	II	Seurataan tarkasti lisärahoituksen tilannetta.	Päätoteuttaja	
	1.3. Rakennushankkeen olosuhteet							
5	Asutusta, kouluja ja muuta toimintaa hankkeen läheisyydessä. Taajamakohde, jossa yritys-/asiakasliikennettä paljon.	Kevyt liikenne ja tienkäyttäjien turvallisuus heikkenee toteutusvaiheessa. Vanhat totutu reitit muuttuvat lisäävät oikomista työmaan läpi. Ei huomioida kaikkia alueella liikkuvia/olevia, jolloin jonkun asiakas-/käyttäjäryhmän turvallisuus heikkenee toteutusvaiheessa.	3	3	III	Huolehdittava riittävästä tiedottamisesta hankkeen aikana. Huolehditaan riittävästä suojaamisesta/aitaamisesta (mm. kaivantojen kohdat). Huomioidaan turvallisuusratkaisuja pohdittaessa kaikki tienkäyttäjä- ja asiakasryhmät alueella, lisäksi huomioidaan joukkoliikenne ja sen käyttäjät.	Tilaaja, päätoteuttaja	
6	Runkovesijohdon sijainti työkohteen lähellä	Putki nikkoutuu. Erityisesti Tuulissuon eritasoliittymän poikki kulkeva runkovesijohto (päävesijohto Paraisille) aiheuttaa nikkoutuessaan katkoksen liikenteeseen ja vedensyöttöön laajalla alueella.	2	5	IV	Riittävät tiedot putken sijainnista, merkitseminen ja erityinen varovaisuus.	Päätoteuttaja	
7	Työn takia purettavat rakenteet ja laitteet	Nykyisten siltojen ja rakennatavien siltojen muottien purku vilkkaasti liikennöidyllä osuuksilla vt 1 ja vt 10 aiheuttaa vaaratilanteita.	2	3	II	Työntekijöiden perehdyttäminen. Työmaan siisteyden ja järjestyksen pitää olla jatkuvasti kunnossa, ettei esim. purettujen rakenteiden tai työntekijöiden kaatumisia pääse tapahtumaan.	Päätoteuttaja	

Kuva 24. Finnmap Infran tekemä riskienhallintasuunnitelma hankkeesta riskien 1-7 osalta (Finnmap Infra 2017).

Seuraavassa kappaleessa kuvataan hanketta varten tehdyn lisäohjelman kehitystä ja toimintaperiaatetta. Lopussa käydään läpi, mitkä hankkeen tunnistetuista riskeistä vietiin tietomalliin ja mitä teknisiä haasteita mallinnuksessa kohdattiin.

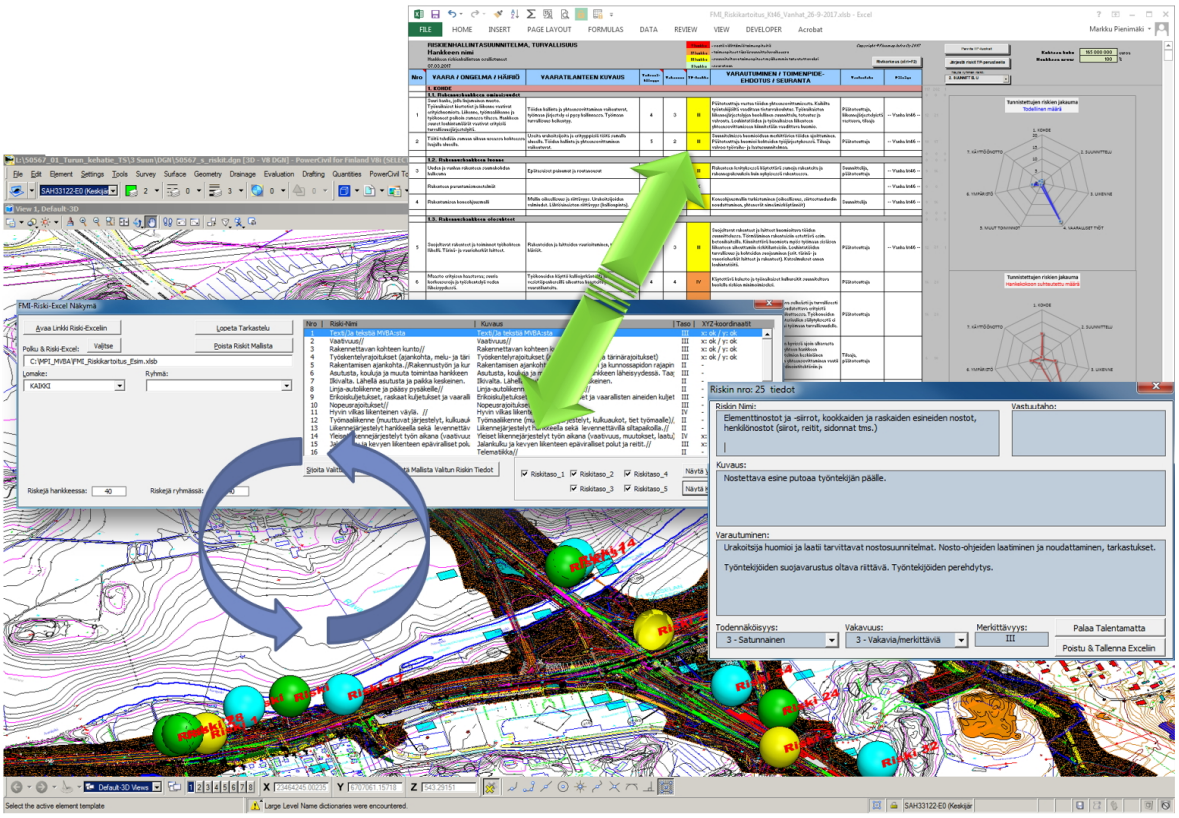
3.4.3 Riskien tietomallintaminen

E18 Kausela–Kirismäki on Finnmap Infran ensimmäinen hanke, jossa tunnistetut riskit oli tilaajan vaatimuksesta liitettävä tietomalliin. Markku Pienimäki toimii yrityksessä kehitys- ja laatupäällikkönä ja hänellä on pitkä tausta tierakentamisessa, riskienhallinnassa ja mallintamisessa. Pienimäki on kehittänyt yrityksessä työkaluja riskienhallintaan jo muutamia vuosia ja tämän osaamisen pohjalta kehitti riskien mallintamiseen soveltuvan lisäohjelman. Elokuussa 2017 kävin haastattelussa Pienimäen kanssa läpi löytämiäni esimerkkejä riskien visuaalisesta esittämisestä ja lokakuussa esittelin myös oman näkemykseni lisäohjelman käyttöliittymästä, joka esiintyy kappaleen 4.1 kuvassa 35. Marraskuussa Pienimäki oli saattanut apuohjelman ensimmäisen version valmiiksi ja oli yhdessä suunnittelijan kanssa mallinnettua riskit lisäohjelmaa hyödyntäen (kuva 26). Pilotin aikana Pienimäki kehitti lisäohjelmaa huomaamiensa havaintojen pohjalta. Toteutustapana lisäohjelmassa oli Bentley PowerCivil -suunnitteluohjelmistossa käytetty MicroStationin Visual Basic -ohjelmointiympäristö.

Finnmap Infra käsittelee hankkeiden riskitietoja pitkään kehitetyllä työkalulla Excel-ympäristössä. Kuvassa 25 on kuvattuna prosessi, jossa ensimmäisessä vaiheessa kuvataan riski-excel eräänlaisena tietokantana. Myöhemmin tutkimuksessa viitataan riski-exceliin termillä riskienhallintasuunnitelma. Tietomallinnusohjelman ja riskienhallintasuunnitelman välillä toimii pieni apuohjelma, joka käsittelee tämän riskienhallintasuunnitelman tietoa molempiin suuntiin ja esittää tätä tietoa käyttäjän osoittamissa paikoissa tietomallissa. Apuohjelma tallentaa myös käyttäjän tietomallista osoittamat sijainnit riskeille riskienhallintasuunnitelmassa omaan sarakkeeseen ja mahdollistaa riskien yksilöllisten tietojen muokkaamisen riskienhallintasuunnitelmassa apuohjelmasta käsin.

Kuva 25. Kuvaus riskitiedon siirtymisen prosessista (Finnmap Infra 2017).

Itse riskien mallinnusprosessi tehtiin PowerCivil-suunnitteluohjelmistossa avattavan VisualBasic-ohjelmointikieleen pohjautuvan apuohjelman avulla. Tämä apuohjelma oli kehitetty Finnmap Infran kehittämää Excel-pohjaista riskienhallintasovellusta varten ja toimi siten vain tämän kanssa. Kuvassa 26 on havainnollistettu riskitiedon siirtymistä riskienhallintasuunnitelman ja tietomallin välillä.



Kuva 26. Kuvaus tiedon siirtymisestä tietokannan ja tietomallin välillä (Finnmap Infra 2017).

Apuohjelma avaa hankkeen riskienhallintasuunnitelma-tiedoston, jolloin näytöltä nähdään listaus hankkeessa tunnistetuista riskeistä (kuva 27). Listauksessa esitetään myös jokaisen riskin toimenpideluokitus, jolloin riskit voidaan kategorisoida tärkeysjärjestyksessä näkyviin. Listauksesta käy myös ilmi, onko riskille tallennettu sijaintitieto ja montako kertaa tieto löytyy tietomallista. Kun listauksesta on valittuna tietty riski, sille voidaan osoittaa hiiren kursorilla tietomallista sijainti tai sijainnit, jolloin apuohjelma sijoittaa osoitetulle paikalle riskipallon ja tallentaa kyseisen x-, y- ja z-koordinaattitiedon riskienhallintasuunnitelmassa

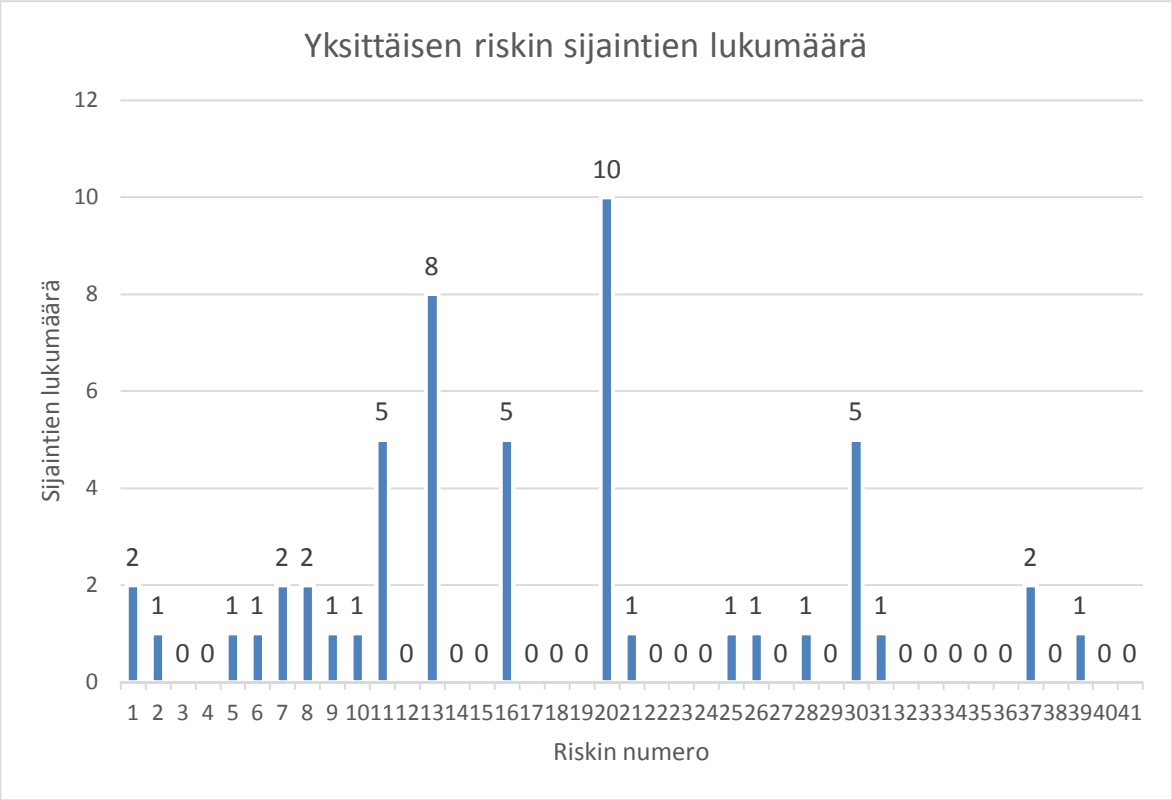
omaan sarakkeeseen. Apuohjelma tallentaa myös käyttäjän riskeille apuohjelmassa tekemät yksilölliset muutokset (riskin nimi, vastuutaho, kuvaus, varautuminen, todennäköisyys, vakavuus), jolloin riskienhallintasuunnitelmaa voidaan muokata PowerCivil-suunnitteluohjelmistosta käsin.

Kuva 27. Riskilistaus-ikkuna (Finnmap Infra 2017).

Riskilistaus-ikkunasta voidaan määrittää pallojen halkaisija ja piilottaa myös kaikki riskit näkyvistä. Kaikissa pilottihankkeen tietomallin kuvankaappauksissa on käytetty 25 metrin halkaisijaa riskejä kuvaavissa pallogeometrioissa.

Markku Pienimäki: *”Riskejä mallinnettaessa huomattiin tarve kohdistaa muutamat tunnistetut riskit useampaan paikkaan suunnittelualueella ja toteutin tämän ohjelmoimalla kyseisen toiminnon apuohjelmaan.”*

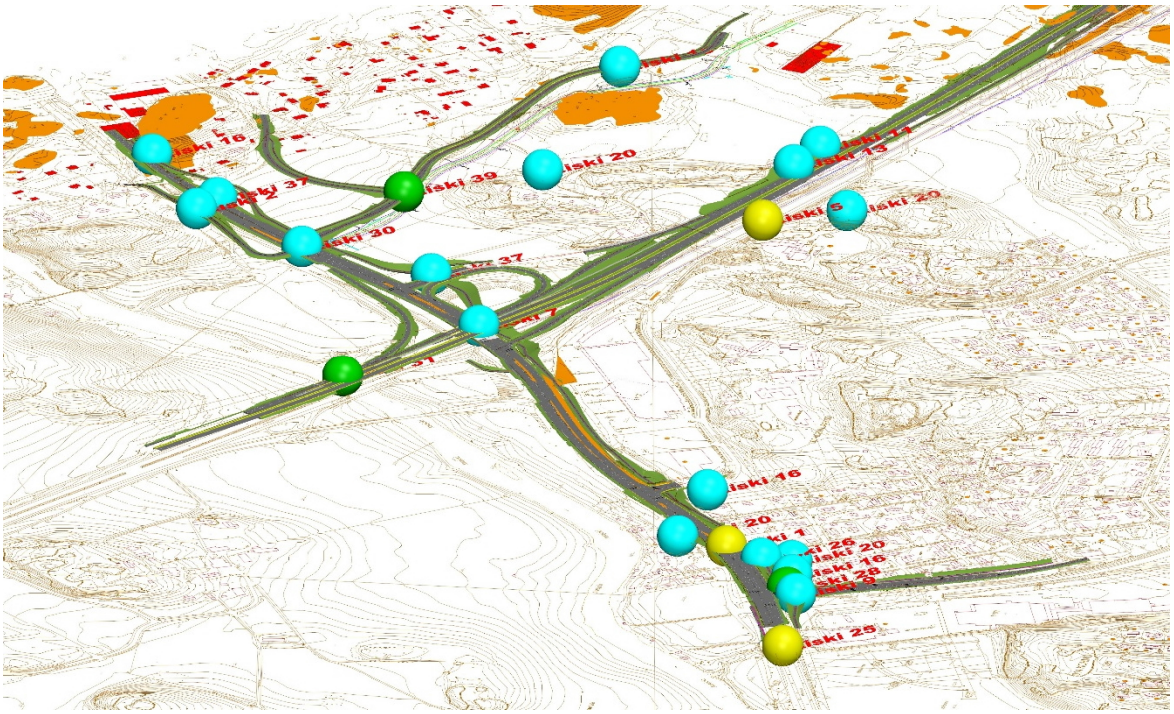
Ensimmäisessä apuohjelman versiossa riskille oli mahdollista tallentaa vain yksi sijaintitieto, mutta pilotin aikana työkalua kehitettiin, kun huomattiin useamman sijainnin tallentamisesta olevan mahdollista hyötyä riskienhallinnalle. Yhteensä 49% kaikista riskeistä sai sijaintitiedon ja näistä noin puolet vain yhden sijainnin. Mallinnetuista riskeistä 45% sai useamman sijainnin ja näistä yleisin oli kaksi eri sijaintia (n=4). Kiinteistöihin kohdistuvaan meluntorjuntaan kohdistettiin kymmenen sijaintia tietomallista ja kallion laatuun liittyen kahdeksan. Seuraavat riskit keräsivät kaikki viisi kohdistettua sijaintia: liito-oravien esiintyminen, hankkeen lupiin liittyvät ongelmat, suurjännitejohdot ja sähköiskun vaara. Kuvasta 28 on havainnollistettu kaikkien riskien yhteyteen tallennettujen sijaintitietojen määrät pylväsdiagrammissa.



Kuva 28. Pilotissa riskeihin kohdistettujen sijaintien lukumäärät.

Kaikki riskeihin liittyvä mallitieto tallennetaan omalle tasolleen (eng. layer). Näin riskejä kuvaavat objektit ovat käyttäjän myös helppo piilottaa näkyvistä tai suodattaa näkyviin ainoastaan halutun toimenpideluokan riskit. Tietomallissa riskiä kuvaava objekti on suunniteltu kolmiulotteiseksi pallo-objektiksi, jonka väri vastaa riskienhallintasuunnitelman ja Liikenneviraston riskimatriisissa käytettyjä värejä. Pilotin riskienhallintasuunnitelmassa ja tietomallissa käytetyt värisävyt eroavat kuitenkin hieman Liikenneviraston riskimatriisin sävyjen kanssa.

Hankkeen 41 riskistä mallinnettiin 20 riskiä ja tähän kului suunnittelijalta kokonaisuudessaan noin 30 minuuttia. Tässä toteutuksessa mallin riskiobjektit eivät sisällä mitään attribuutti-tietoa, vaan kaikki riskiin liittyvät tiedot ovat luettavissa ainoastaan apuohjelman kautta, joka esittää riskin numeron perusteella riskienhallintasuunnitelmaan tallennettua tietoa. Riskien tarkempi tarkastelu on mahdollista suorittaa vain tietokoneella, jossa on asennettuna PowerCivil-tietomallinnusohjelmisto, apuohjelma riskienhallintasuunnitelman lukemiseksi, sekä hankkeen riskit sisältävä riskienhallintasuunnitelma. Näin ollen siirrettäessä tietomallia eteenpäin toiseen järjestelmään tai toiselle käyttäjälle vain riskien numerotieto ja pallo-objektit siirtyvät.



Kuva 29. Kuva Turun kehätien tietomallista riskit mallinnettuina (Finnmap Infra 2017).

Kuvassa 29 nähdään tietomalli suurennettuna 3D-muodossa, jossa pallon muotoiset riski-objektit ovat maastomallin päällä ja jokaisen objektin vieressä on riskin numero kirjattuna. Varsinkin mallin alareunassa on havaittavissa useampikin riski hyvin lähellä toisiaan, jolloin tiedon lukeminen mallista vaikeutuu. Pahimmassa tapauksessa jotkin riski-objekteista saattavat olla päällekkäin esimerkiksi mallia tietystä kulmasta katsottaessa. Tällöin kaikkia mallinnettuja riskejä on erittäin vaikea havaita tietomallista. Finnmap Infra pohti myös yhtenä mahdollisuutena muokata pallon geometriaa ellipsin muotoon, jolloin objektilla pystyisi paremmin havainnollistamaan tiettyyn riskiin kohdistuvaa aluetta. Tästä kuitenkin luovuttiin, koska havainnoitava informaatio oli tällöin kasvattanut pinta-alaansa tietomallissa ja tiedon lukeminen vaikeutunut entisestään. Mitään muutakaan toimivaa graafista tapaa ei alueellisen riskin kuvaamiseen keksitty.

3.4.4 Pilotoinnin johtopäätökset

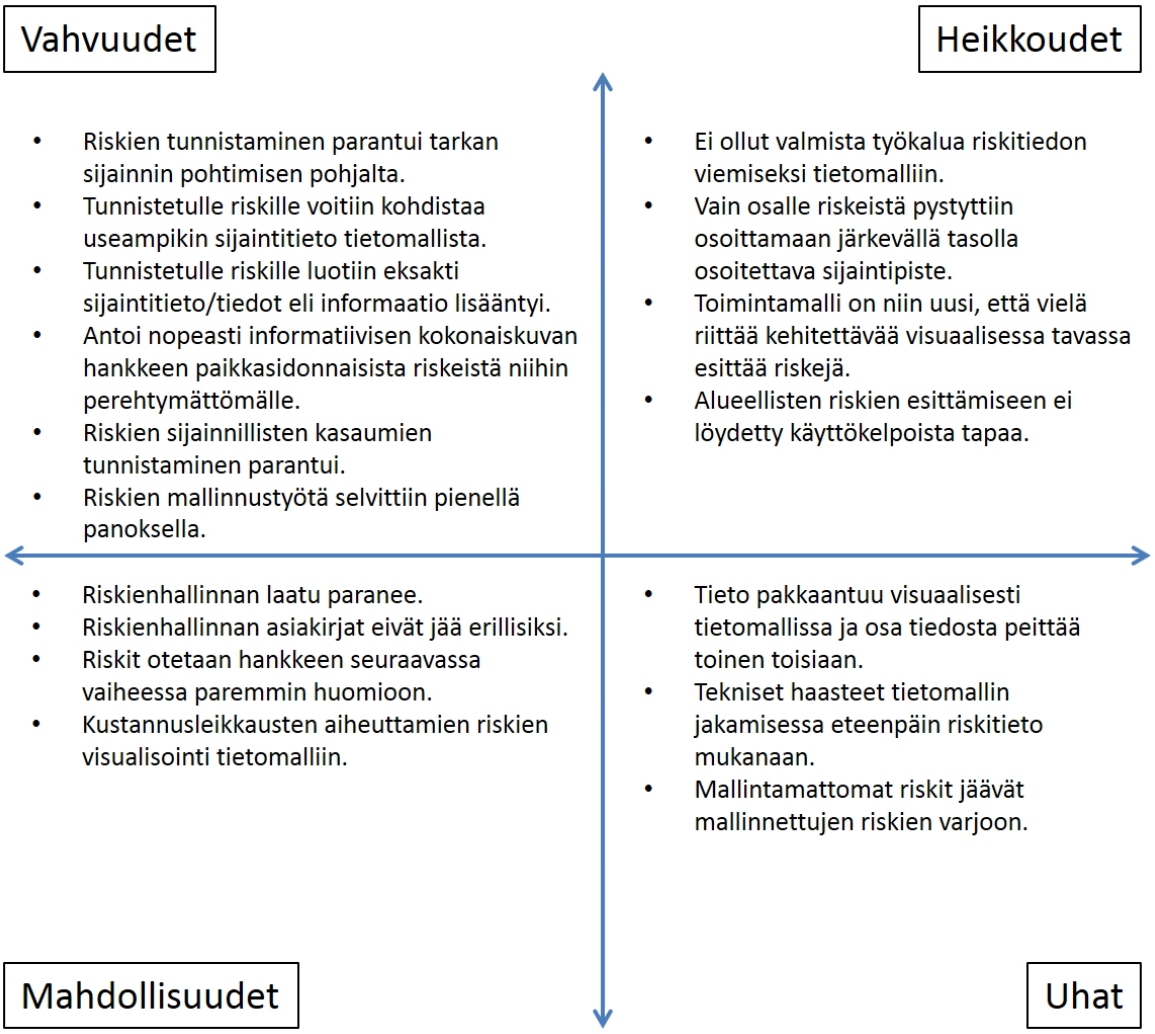
Pilottihankkeen tilaaja (T5): *”Tätä (riskien tietomallinnusta) ei tehdä riskiarvioiden vuoksi, vaan että se näkyisi tien käyttäjälle näillä järjestelyillä parempana palvelutasona.”*

Lopputuloksena saavutettiin selkeä näkymä, jossa tietomallia tarkastelevalla on mahdollista helposti hahmottaa kaikkien paikkaan sidottujen riskien sijainti ja toimenpideluokka. Asian tärkeys korostuu varsinkin ulkopuoliselle tai hankkeessa uutena aloittavalle, jolla ei ole tarkempaa käsitystä hankkeesta. Tällainen tilanne muodostuu esimerkiksi siirryttäessä suunnittelusta rakentamiseen.

Kuva 30. Turun kehätien riskit sisältävä tietomalli kokonaisuudessaan (Finnmap Infra 2017).

Pilotti tuki haastatteluissa (H5) mainittua kokemusta siitä, että riskitiedon mallintaminen olisi ollut erityisen työlästä ilman riskienhallintasuunnitelman ja PowerCivil-tietomallinnusohjelmiston välille ohjelmoitua apuohjelmaa. Tällöin jokainen objekti olisi pitänyt luoda käsin malliin ja sen sijaintitieto tallentaa riskienhallintasuunnitelmaan. Tämän kokoluokan hankkeessa olisi tämä vielä voinut olla mahdollista toteuttaa, mutta useamman tunnistetun riskin tapauksessa kustannustehotonta. Koska mitään valmiita kaupallisia ohjelmistoratkaisuja tällaiseen riskien tietomallintamiseen ei tällä hetkellä markkinoilla ole, niin jokaisen riskienhallintaa harjoittavan yrityksen, joka haluaa kehityksessä pysyä mukana, on käytettävä resurssejaan ongelman ratkaisemiseksi.

Pilotoinnin teemahaastattelussa nousseita asioita on koottu SWOT-analyysiin, jossa luokitellaan nelikenttään käsiteltävän asian vahvuuksia, heikkouksia, mahdollisuuksia ja uhkia. SWOT-mallia on usein tapana käyttää jonkin asian ideoinnin ja jatkokehittelyn tukena.



Kuva 31. SWOT-analyysi pilotoinnin loppuhaastattelun pohjalta.

Vahvuuksina nousi viisi asiaa, joista riskienhallinnan parantuminen tietomallin avulla koettiin olleen merkittävä. Asiantuntija joutui miettimään riskiä uudella tavalla, koska oli tavoitteena osoittaa mahdollisimman usealle riskille täsmällinen sijainti tietomallista. Yksittäisen riskin kohdistaminen useampaan sijaintiin auttoi hahmottamaan riskin yleisyyttä ja kymmenenkin sijainnin huomioiminen pelkästään yhdelle riskille muuttui käyttökelpoiseksi visuaalisen riskitietomallin avulla. Luomalla täsmällinen paikkatieto riskille, laajennettiin myös samalla riskiin kohdistuvaa informaatiota. Hankkeen riskeihin perehtymättömälle tietomalli antoi hyvin tehokkaasti ja havainnollisesti käsityksen kaikista hankkeen paikkasidonnaisista riskeistä ja niiden merkittävyydestä. Riskien sijainnillista kasautumista on vaikea huomata ilman havainnollista tietomallia, jonne riskit ovat sijoitettuna. Paikat, joissa riskejä on kasautuneena, voidaan huomioida paremmin riskienhallinnassa ja tutkia kasautumien vaikutusta. Ellei mallintamiseen kehitetyn apuohjelman kehitystyöhön kulunutta panosta huomioida tarkastelussa, niin noin 1,5 minuutin kulutettua aikaa yhden riskin kohdistamiseen tietomallissa voitaneen pitää hyvin vähäisenä. Näin ollen kymmenien tai jopa yli sadan riskin mallintaminen tietomalliin ei todennäköisesti muodostuisi kustannuskysymykseksi, jos toimenpiteen edellyttämät ohjelmistolliset ratkaisut ovat käytettävissä. Jatkossa kohdistaminen tietomalliin voitaisiin tehdä riskityöpajassa, jolloin tämä olisi osa normaalia riskien tunnistamisen ja kirjaamisen prosessia.

Selvinä heikkouksina havaittiin, että mallintamiseen ei ole tällä hetkellä markkinoilla valmista ohjelmistoratkaisua, vaan riskienhallintaa harjoittavien organisaatioiden on kehitettävä omat työkalut sen toteuttamiseksi. Kaikille riskeille ei myöskään pystytty järkevästi osoittamaan sijaintitietoa, joten se, että kaikki hankkeen tunnistetut riskit löytyisivät tietomallista ei toteutunut. Visuaalisessa esittämismuodossa on varmasti kehitettävää, koska vasta ensimmäisten pilottiprojektien avulla ollaan etsimässä parasta mahdollista tapaa esittää riskitietoa tietomalleissa. Esimerkiksi alueellisten riskien kuvaamiselle ei löydetty käyttökelpoista toimintatapaa vielä tässä pilottihankkeessa. Ongelmaksi laajempien riskien kuvaamisessa muodostui kokeiltujen tapojen graafisesti vääristävä vaikutus muihin yksittäisiin paikkaan sidottuihin riskiobjekteihin nähden.

Mahdollisuuksina nähtiin riskienhallinnan vielä parempi kytkeytyminen osaksi kokonaisuutta hankkeissa, joissa käytetään laajasti tietomallia. Kun riskienhallinnan asiakirjat eivät jää erillisiksi, niiden saama huomio kasvaa tietomallin myötä. Näköpiirissä on, että infrasuunnittelun tietomallit tulevat siirtymään entistä enemmän pilvipohjaisiksi ja tällöin informaatio on helpommin jokaisen hankkeen osapuolen saatavissa. Kustannusleikkausten aiheuttamien riskien havainnollistaminen tietomallilla muiden riskien tavoin nähtiin erinomaisena mahdollisuutena. E18 Kausela–Kirismäki hankkeen kustannusarvio oli ollut huhtikuussa 2017 30 miljoonaa, mutta marraskuussa 2017 arvio oli noin 38 miljoonaa. Kustannusylitys voitaisiin jakaa tietomallissa sijainnillisesti ja arvioida mahdollisiin kustannusleikkauksiin kohdistuvia riskejä visuaalisesti kokonaisuutta hahmottaen.

Usean riskin visuaaliseen esittämiseen huomattiin liittyvän uhka, että riskiobjektit peittävät toisiaan, jolloin jokin riski voi jäädä huomaamatta tietomallista. Esimerkkikuvan alareunassa (kuva 29) on nähtävissä tällaista tiivistä riskiobjektien kasautumista ”matomaiseen” muodostelmaan. Kun tietomallin tietoa halutaan siirtää eteenpäin, esimerkiksi toiseen ohjelmistoon, niin tällöin tarvitaan yleisesti käytetty tiedonsiirtoformaatti ja tällaista ei vielä ole riskitiedon siirtämiseksi Suomessa infrapuolella. Tällöin uhka on, että riskitieto löytyy vain suunnittelijan luomasta natiivimallista, eikä tieto liiku eri toimijoiden käyttämien ohjelmistojen välillä. Yhteisesti alalla muodostettu nimikkeistö on siis välttämätön tiedonsiirtämiseksi. Kolmantena uhkana on myös, että mallintamattomat riskit jäävät vähemmälle huomiolle tai unohtuvat jopa kokonaan hankkeessa ja mallinnetut riskit tietomallissa saavat epätasapainoisen huomion muihin riskeihin verrattuna.

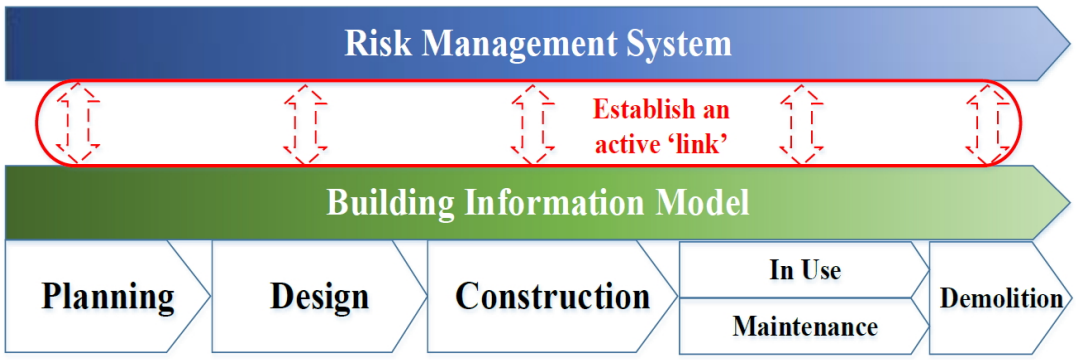
Teemahaastattelu toteutettiin E18 Kausela–Kirismäki hankkeen vaiheessa, jossa Finnmap Infra oli vasta samalla viikolla suorittanut riskien tietomallintamisen, joten tässä tutkimuksessa ei ollut mahdollisuutta tarkastella hankkeen eri osapuolten näkemyksiä toteutuksesta. Projektin valmis materiaali toimitetaan kokonaisuudessaan keväällä 2018 tilaajalle eli Varsinais-Suomen ELY-keskukselle. Erityisen kiinnostavaa olisi ollut arvioida seuraavan hankevaiheen aloitusta, jossa uudet asiantuntijat tutustuvat hankkeen riskienhallinnan asiakirjoihin ja tietomalliin. Teemahaastattelussa nousi esille korkeat odotukset tietomallin hyödyille riskienhallinnan osalta, joita rakennusvaiheessa voitaisiin E18 Kausela–Kirismäki hankkeessa saavuttaa aiempiin infraprojekteihin verrattuna.

4 Pohdintaa riskien tietomallintamiseksi väylähankkeissa

Kappaleessa yhdistetään kirjallisuusselvityksen, puolistrukturoitujen haastatteluiden ja pilotoinnin perusteella nousseita asioita kokonaisuuksiksi ja muodostetaan päätelmä siitä, miten riskien tietomallintamisessa tulisi edetä. Tämä kuvaa konstruktiivisen tutkimusprosessin viimeistä vaihetta, jossa tavoitteena on ratkaisun testaamisen pohjalta esittää riskien tietomallintamiselle ehdotus infrahankkeissa. Jälkimmäisessä alaluvussa luonnostellaan ehdotelma nimikkeistöstä, jota tulisi Suomessa infra-alan toimijoiden kanssa kehittää eteenpäin.

4.1 Riskit mallissa

Kansainvälinen tutkimus käsittelee muutaman julkaisun voimin riskitietokantojen ja tietomallien välisen yhteyden luomista (kuva 32). Kaikki julkaisut kuitenkin päätyvät johtopäätökseen, ettei konseptia ole vielä käytännössä toteutettu ja täten siihen saattaa liittyä haasteita. Työmaaturvallisuuden tietomallintamisessa kulkeudutaan lähimmäksi visuaaliselta näkökulmalta tämän tutkimuksen aihepiiriä. Siinä kaikki työmaan henkilöturvallisuuteen liittyvät rakenteet on mallinnettu hyvin yksityiskohtaisesti, jotta tätä mallia voidaan analysoida automatiikalla vaaroja etsien, että käyttää visuaalisena työkaluna työmaahenkilökuntaa koulutettaessa. Objekteihin ei sidota tässä kuitenkaan mitään tässä tutkimuksessa tarkoitettua riskitietoa.

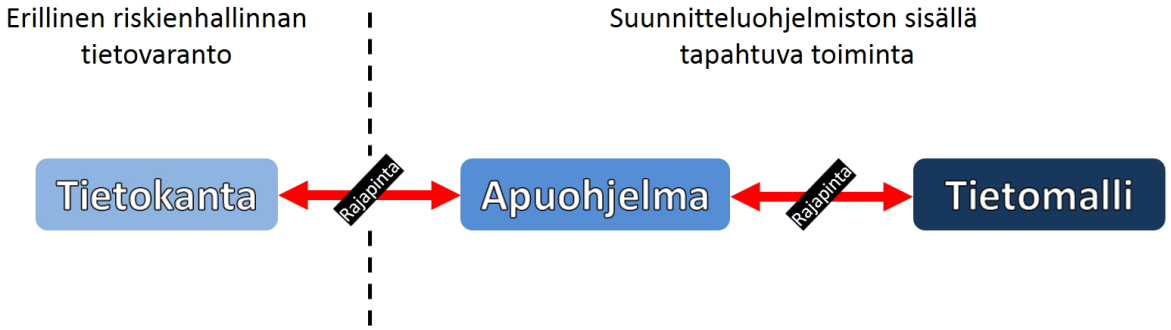


Kuva 32. Kuvaus riskienhallinnan ja tietomallin välisestä ”aktiivisesta” linkistä (Zou 2015a).

Haastattelututkimuksen tuloksien perusteella Suomessa on vasta kahdessa infrahankkeessa vuonna 2016 kokeiltu ensimmäisen kerran riskitiedon viemistä tietomalliin. Tämä koettiin tällöin erityisen hitaaksi johtuen siitä, ettei riskitiedon ja mallinnusohjelmiston välille ollut ohjelmoituna erillistä apuohjelmaa. Mallinnus suoritettiin työläästi ja hitaasti yksitellen tietoa riskitietokannasta kopioimalla tietomalliin. Tämän tutkimuksen kansainvälisessä lomaketutkimuksessakaan ei noussut esille yhtään riskien tietomallintamiseen liittyvää toteutusta. Näiden kaikkien tutkimuksen aikana esiintyneiden tietojen pohjalta VR-Trackin kahta toteuttamaa infrahanketta vuonna 2016 voineen pitää jopa kansainvälisesti edistyksellisinä riskien tietomallintamisen näkökulmasta. Tälle päätelmälle on kuitenkin syytä asettaa tietty epävarmuus kansainvälisen lomakekyselyn suppeasta kattavuudesta (N=25) ja alhaisesta vastausprosentista (28%) ja johtuen.
Yrityksien asiantuntijoita haastattelemalla selvisi myös, että muutamalla yrityksellä oli käynnissä tutkimushankkeita riskien viemiseksi tietomalliin visuaalisiksi objekteiksi. Hyvin

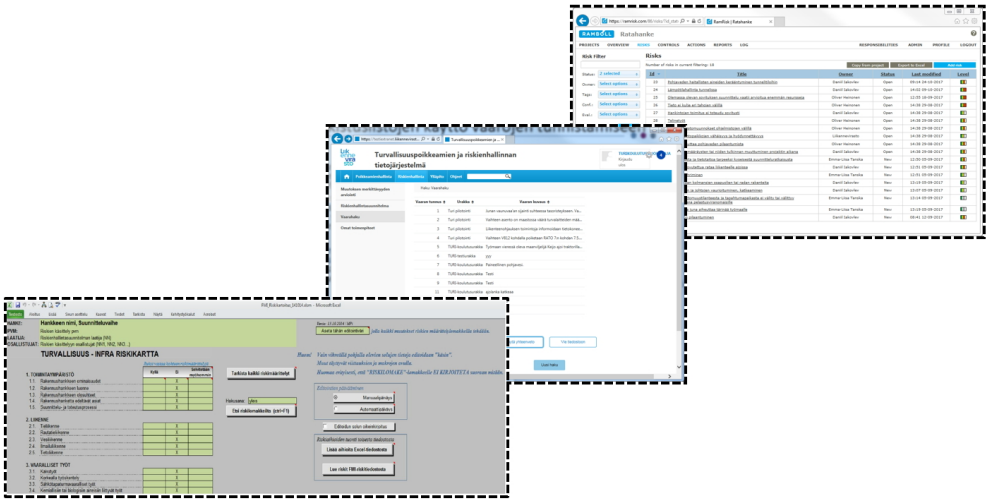
todennäköinen syy tälle on ollut Liikenneviraston ja ELY-keskusten aloite ryhtyä suosittamaan tai jopa edellyttämään tarjouspyynnöissä riskienhallintaan riskien tietomallintamista. Suunnitteluala voidaan nähdä niin hintakilpailtuna, ettei yrityksillä ole varaa kehittää täysin uusia menetelmiä, elleivät tilaajat niitä vaadi (H2). Näin ollen tämänkin tutkimuksen lähtölaukaus on tullut infrahankkeiden tilaajapuolelta.

Kirjallisuusselvityksessä käytyjen julkaisujen ja pilottihankkeen riskien tietomallintamisen toteutuksen perusteella riskien tietomallintaminen on perusteltua jakaa kolmeen toisiinsa linkittyvään osaan. Tässä jaossa tietokanta edustaa suunnitteluohjelmiston ulkopuolista vyöhykettä ja apuohjelma sekä tietomalli suunnitteluohjelmiston sisäistä vyöhykettä. Jaottelu perustuu siihen missä toiminto tapahtuu. Kaikkien kolmen osan välille tarvitaan toimivat rajapinnat tiedonsiirtoon, joka tässä yhteydessä ei viittaa tietomallien yleisiin tiedonsiirtostandardeihin. Tietokanta kuvaa riskienhallinnan tietojärjestelmän tunnistettua riskitietoa.



Kuva 33. Riskien tietomallintamisen kolme vaadittavaa osaa.

Tutkimuksen haastatteluissa tulleiden tietojen pohjalta yritykset käsittelevät riskitietoa Excel-ympäristössä tai Web-pohjaisessa riskienhallintajärjestelmässä. Kuvassa 34 esitetään näitä eri riskienhallinnan teknisiä toteutuksia, joista ensimmäinen edustaa Excel-dokumenttia ja kaksi jälkimmäistä Web-pohjaisia riskienhallintajärjestelmiä.

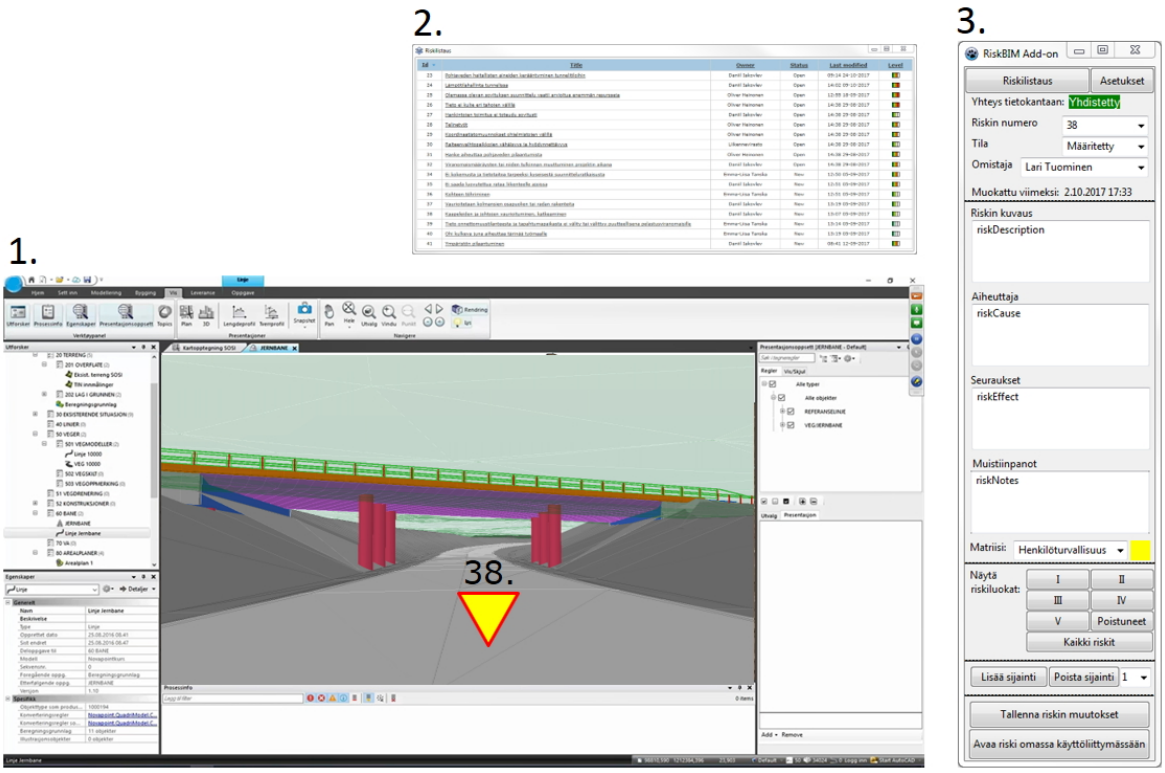


Kuva 34. Kolme erilaista riskienhallinnan toteutusta riskitiedon hallinnointiin (Finnmap Infra 2017, Liikennevirasto 2017d, Ramboll 2017).
Apuohjelma kattaa tässä yhteydessä tietokannan ja tietomallin eli suunnitteluohjelmiston väliset rajapinnat (API) että käyttöliittymän. Rajapinnoissa voidaan viedä ja tuoda tietoa riski-

tietokannan ja tietomallinnusohjelmiston välillä. Apuohjelma on pieni ohjelma, joka mahdollistaa riskitiedon esittämisen suunnitteluohjelmistossa, jotta riski voitaisiin sitoa tiettyyn sijaintiin. Tutkimuksessa ilmenneiden seikkojen pohjalta voidaan todeta tämän apuohjelman olevan välttämätön riskien tietomallintamiseksi.

Infrapuolen tietomallinnusohjelmistojen valmistajista Autodesk (Autodesk 2017) ja Bentley (Bentley 2017) tarjoavat SDK-kehitysympäristön, jossa yleisimpiä ohjelmistokieliä käyttäen on mahdollista luoda tässä mainittujen apuohjelmien kaltaisia sovelluksia. Kuitenkaan kaikkien infrapuolen tietomallinnusohjelmistojen valmistajat eivät tarjoa avoimia rajapintoja sovelluskehittäjille, jolloin ohjelmiston ja riskitietokannan välinen linkki on ongelmallista muodostaa.

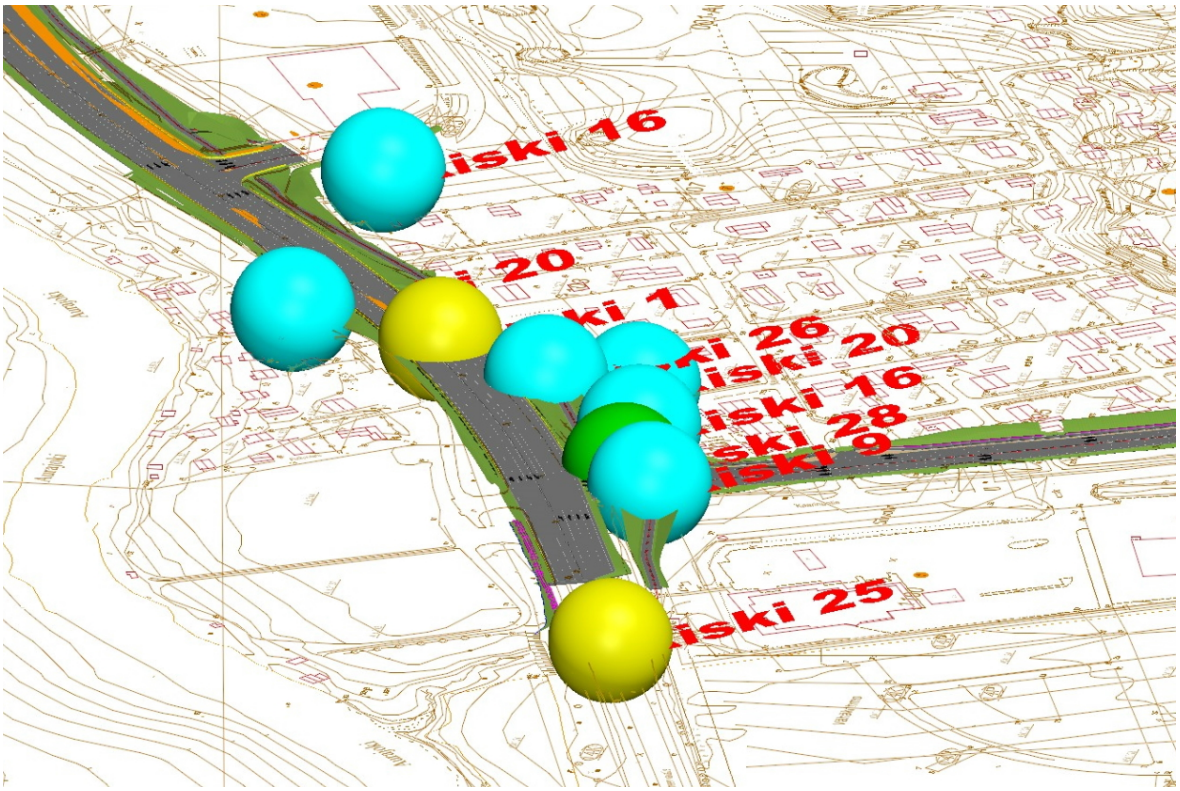
Seuraavassa havainnollistetaan millainen apuohjelma tietokannan ja suunnitteluohjelmiston välillä voisi käyttöliittymältään olla. Kuvassa 35 numero 1. esittää suunnitteluohjelmistoa, numero 2. hankkeen riskilistausta tietokannasta ja 3. apuohjelmaa. Tässä on käytetty apuna Delphi-ohjelmointikieltä ja muokattua kuvankaappausta valmiista infratietomallista. Riskinumeron perusteella apuohjelman tekstikentissä nähtäisiin kaikki riskin kannalta yleisesti olennaisimmat tiedot ja näiden alla riskimatriisin arvo värillä ilmaistuna. Riskille pystyttäisiin tallentamaan sijainti kohdistamalla se tietomallissa oikeaan kohtaan, jolloin kyseiseen paikkaan tietomallissa syntyisi riskiä kuvaava objekti. Objektin väri perustuisi riskimatriisin väriin ja geometrinen muoto riskin tilaan.



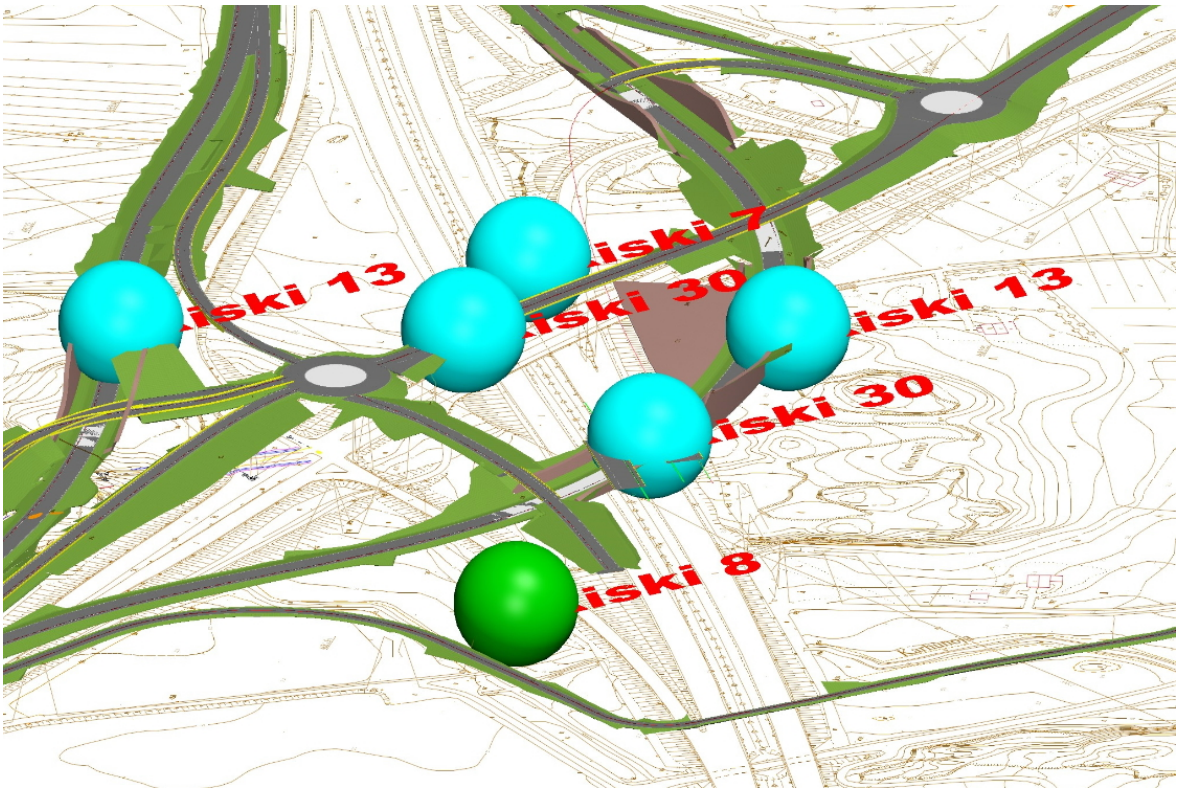
Kuva 35. Esimerkinomainen kuvaus kappaleessa kuvatun apuohjelman käyttöliittymästä.

Kohdistettaessa riskejä malliin, apuohjelma voisi järjestellä kaikki saman riskiluokan riskit omille tasoilleen suunnitteluohjelmistossa, jolloin apuohjelman esitä-toiminnolla olisi mahdollista näyttää ja piilottaa haluttuun toimenpideluokitukseen kuuluvat riskit.

Riskin visuaalisessa kuvantamisessa tietomallissa on omat haasteensa. Paikkatieto-ohjelmistoissa karttaan tallennettu tieto saadaan skaalautumaan tarkasteluetäisyyden mukaan, jolloin tieto näkyy käyttäjälle optimoidusti sopivassa mittakaavassa. Tietomallinnusohjelmistoissa tällaista ominaisuutta ei kuitenkaan vielä ole, joten kuvatulle objektille tai kirjatulle tekstipohjaiselle tiedolle on määritettävä kiinteä koko. Pilottihankkeen yhteydessä Finnmap Infra totesi ennalta sovitun koon määrittelyn olevan erittäin haastavaa, koska paikkaan sidottujen riskien määrä tietomallin eri kohdissa vaihteli suuresti. Kuvassa 36 on esimerkki paikkaan sidottujen riskien pakkautumisesta mallissa niin, että informaation luettavuus on lähes mahdotonta. Vastaavasti kuvassa 37 saman hankkeen tietomallin toisesta kohtaa mallinnetut riskit ovat selkeästi luettavissa.

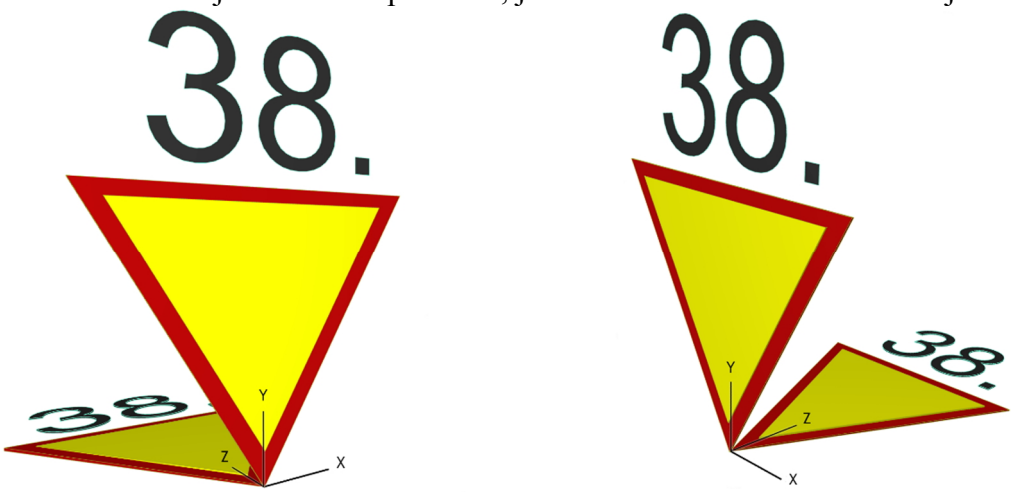


Kuva 36. Mallinnetut riskit pakkautuneet tietomallissa (Finnmap Infra 2017).



Kuva 37. Riskit ovat selkeästi luettavissa tietomallista niiden välisistä välimatkoista johtuen (Finnmap Infra 2017).

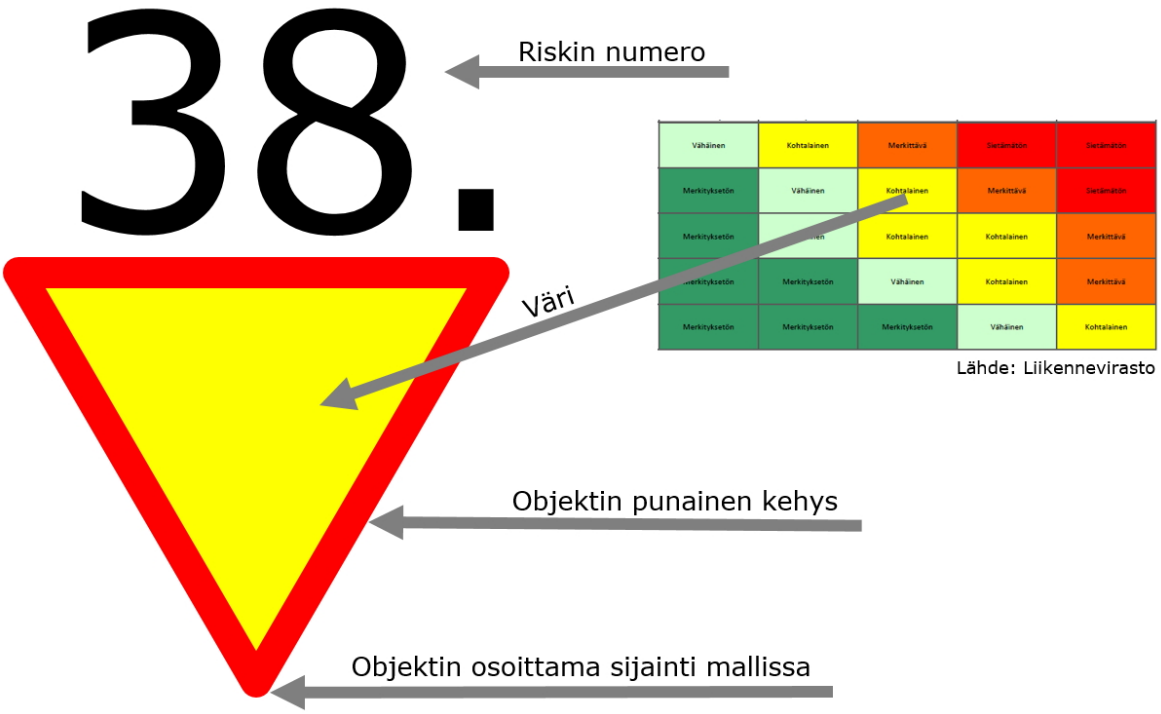
Käytetty pallo-objekti määräytyi pilottihankkeessa täysin Finnmap Infran näkemyksestä siihen parhaiten soveltuvana visuaalisena muotona. Objektina pallo muodostettiin suoraan PowerCivil-suunnitteluohjelmiston valmiilla työkalulla. Koska pallo on geometriana suljettu kolmiulotteinen kappale, niin sen viemä tila käyttäjän havaintokentässä on joka suunnasta tarkasteltuna samankokoinen. Hyvän havaittavuuden kannalta tämä seikka on positiivinen, mutta kuten aiemmin todettiin, niin tiedolla on taipumus näytöllä pakkaantua helposti. Tästä johtuen geometrisesti avoin kappale olisi perustellumpi, jolla vältettäisiin haasteita tiedon luettavuudessa. Luonnoskuvassa 38 on kahteen suuntaan piirretty avoin kolmiogeometria, jossa kolmioiden kärjet kohtaavat pisteessä, joka kuvaa riskille kohdistettua sijaintia.



Kuva 38. Kahteen suuntaan oleva tasomainen kolmiogeometria ArchiCAD-suunnitteluohjelmistolla havainnollistettuna kahdesta eri perspektiivistä.

Pilotoinnin ryhmähaastattelussa vahva mielipide oli, että ohjelmistokehittäjille ja suunnittelutoimistoille olisi annettava mahdollisuus päättää mallinnettavien objektien geometriasta ennalta määritellyn sijasta. Tilaajan kannalta tavoiteltavaa voisi kuitenkin olla tuotettujen suunnitteluaineistojen samankaltaisuus vertailukelpoisuuden saavuttamiseksi.

Kuvassa 39 on luonnosteltu riskiobjektin graafista ulkoasua ja informaation kuvaustapaa. Objektin päällä oleva numero ilmoittaa hankkeen sisäisen riskienhallintasuunnitelmasta tulevan riskinumeron. Riskin varoitusobjektin sisäväri tulee Liikenneviraston riskimatriisista ja pohjautuu siten riskille määriteltyyn toimenpideluokkaan. Varoitusobjektin ulkoreunan on tärkeää rajata selkeästi objekti, jotta objektin sisällä oleva väri ei missään tapauksessa voisi hukkua tietomallin värimaailmaan. Punainen väri ulkoreunassa ei siis täten kuvaa riskin toimenpideluokkaa, vaan toimii ainoastaan tehokeinona sisävärille. Riskinumeron ja itse varoitusobjektin on pilottihankkeen kokemuksien pohjalta oltava samaa kokoluokkaa, jotta molemmat osat näyttäytyvät havainnollisesti tietomallissa. Se minkä kokoisia näiden olisi oltava näyttäytyi pilottihankkeen kokemuksien pohjalta tapauskohtaisena. Haastatteluissa nostettu poistuneiden riskien esittäminen voidaan toteuttaa kuvaamalla riskiobjekti harmaana, koska Liikennevirasto ei anna tälle väriin liittyvää määrittelyä. Vaihtoehto, jossa poistunutta riskiä kuvattaisiin läpinäkyvänä tietomallissa olisi ristiriidassa YIV 2015 kanssa, jossa epävarma tieto suositellaan mallinnettavaksi läpinäkyvänä (YIV 2015b, s. 6). Objektin alin piste osoittaa täsmällistä kohdan tietomallista, johon kyseinen riski osoitetaan kohdistuvaksi.



Kuva 39. Kuvaus riskiobjektin graafisesta muodosta.

Zou et al. (2017) tarjoaa kaksi erilaista lähestymistapaa riskitiedon ja tietomallin yhdistämiseksi. Ensimmäisessä vaihtoehdossa kaikki riskitieto sidotaan tietomalliin. Toisessa vaihtoehdossa tietokannan ja tietomallin välille luodaan ”linkki” ja tätä tapaa Zou pitää suositellumpana. Tälle ”linkille” ei kyseinen tutkimus luo mitään konkretisoitua kuvausta.

Tämä tutkimus ehdottaa kahden näkökulman osittaista yhdistämistä. Riskitietokannan on perusteltua toimia tiedon ensisijaisena tallennuspaikkana, josta sitä luetaan ja johon päivitettyä tietoa myös mahdollisesti suoraan tallennetaan. Tässä yhteydessä riskitietokannalla tarkoitetaan riskienhallinnan järjestelmää, joka sisältää oman monipuolisen käyttöliittymän, jonka kautta riskien tiedonhallinta ja muokkaaminen on pitkälle kehittynyttä. Kuitenkin paikkaan sidottavissa olevan riskitiedon esittämiseksi visuaalisesti ja riskien tietojen lukemiseksi on tietomalli tämän hetken teknologioita hyödyntäen nähtävissä suositelluimpana ratkaisuna. Tietomallien katseluohjelmistot, kuten Solibri, tukevat objektien attribuuttitietojen lukemista IFC-malleista, mutta erillinen riskitietoihin kehitetyn apuohjelman kytkeytyminen katseluohjelmaan on nähtävissä käytännön toteutuksena ongelmallisena. On suoraviivaisempaa kehittää suunnitteluohjelmistoihin kuin katseluohjelmistoihin riskienhallintaa tukevia apuohjelmia johtuen niiden avoimista ohjelmointirajapinnoista. Teknologian kehittyessä tämä suositus saattaa muuttua linkitetyn tiedon suuntaan.

Riskin tallentamisessa tietomalliin synnytetään tiedon ajantasaisuuden ongelma. Tietomalliin tallennettua riskitietoa on päivitettävä vastaamaan riskitietokannan tietoja. On välttämätöntä, että suunnitteluohjelmistossa käynnissä oleva apuohjelma riskitiedon käsittelemiseksi päivittää automaattisesti kaikkien tietomalliin tallennettujen riskien tiedot. Tätä varten riskien tarkan yksilöllisen tunnuksen käyttäminen on välttämätöntä. Tiedon tallentamiseksi voidaan käyttää tietomallissa riskien kuvaamiseksi suunniteltuja objekteja ja näiden attribuuttikenttiä. Pilvipohjaisissa infra-tietomalleissa voitaisiin tieto automatisoida päivittymään riskitietokannasta säännöllisin väliajoin tietomallin objektien attribuutteihin. Riskien tiedonsiirto tietomallien mukana kaipaa tästä huolimatta vielä infra-alalle yhtenäistä nimikkeistömäärittelyä.

Pilottihankkeessa riskitietoa ei tallennettu objektiin attribuuttitietona, vaan tieto oli Zoun ehdottoman linkin kautta suunnittelijan näytöltä luettavissa. Tietomallia eteenpäin siirrettäessä käyttäjällä on ainoastaan riskeihin liittyvät objektit ja tekstipohjainen riskin numero mallissa jäljellä ilman yksityiskohtaisempia tietoja riskistä. Tällöin riskin tarkemmat tiedot pitää etsiä riskienhallintasuunnitelmasta riskin yhteyteen kirjatun numeron perusteella. Tämänkaltaista suppeampaakin toteutusta voidaan pitää huomattavana edistysaskeleena riskienhallinnassa.

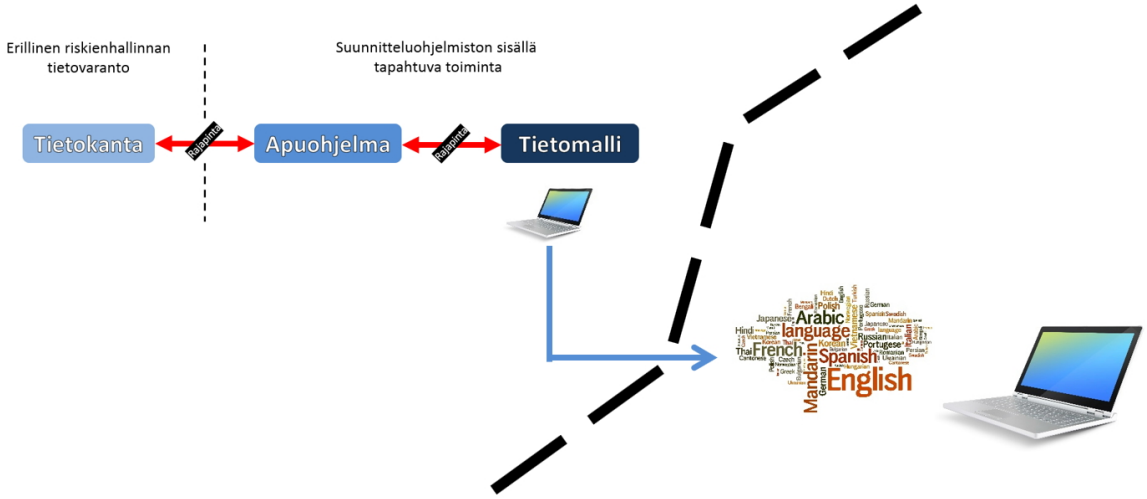
Seuraavassa kappaleessa käsitellään tiedonsiirtoa, jos tietomalliin tallennettu riskitieto halutaan saada siirrettyä natiivimallista eteenpäin toiseen ohjelmistoon, niin on välttämätöntä olla tätä varten yhteisesti sovittu nimikkeistö riskejä varten. Kappaleessa kuvataan asian nykytilaa ja muodostetaan ehdotus nimikkeistöstä Suomeen infra-alalle.

4.2 Nimikkeistö

Yhteisesti käytettävän nimikkeistön rooli on merkittävä tietomallintamisessa tiedonsiirrettävyyden näkökulmasta. Toiminta tehostuu, kun suunnittelijat ja urakoitsijat luopuvat päällekkäisten järjestelmien käytöstä ja hyödyntävät yhteistä käsitteistöä. Kansainvälisemmin katsottuna voidaan nähdä, että tietomalleihin liittyvät standardoinnit ovat hyvin lokaaleja ja esi-

merkiksi Pohjoismaissa kaikilla mailla on omat järjestelmänsä, esimerkiksi Tanskassa Cuneco Classification System, kun taas Ruotsin CoClass. Iso-Britannian järjestelmä on UniClass 2015. (Vesalainen 2017, s. 27-37.) Nimikkeistöjen yhtenäisyys olisi tavoiteltavaa, jotta nimikkeistöjä pystyisi vertailemaan keskenään kansainvälisesti. Kuitenkin kulttuuri- ja lainsäädännölliset erot ovat tämän esteenä. (Saarnikko 2016, s. 63.)

Suomessa buildingSMART Finland ylläpitää InfraBIM-nimikkeistöä, jossa esitetään infrarakenteiden ja -mallien elinkaaren kattavat numerointi- ja nimeämiskäytännöt. Riskien tietomallintamisen kannalta on välttämätöntä, että myös riskeille perustetaan määritelmä tiedonsiirtämiseksi ohjelmistojen välillä, kuten kuvassa 40 on esitetty. Määritelmän luomiseksi olisi kaikkien alan toimijoiden neuvoteltava yhteinen näkemys siirrettävästä tiedosta ja sen määritelmistä.



Kuva 40. Tiedon siirtyminen tietomallinnusohjelmistosta toisen valmistajan ohjelmistoon.

Tutkimuksessa luodaan ainoastaan ehdotus lähtökohdaksi tälle laajemmalle keskustelulle. Päätelmät ehdotukselle pohjautuvat tutkimuksen aikana luettuihin riskienhallinnan dokumentteihin, joista on poimittu kategorisoivaa tietoa taulukon attribuutti-tietoihin.

Taulukko 14 jakaantuu horisontaalisesti kolmeen sarakkeeseen, jotka koostuvat attribuutista, Inframodel-vastineesta ja arvosta. Attribuutti kuvaa riskienhallinnassa käytettyä termiä, joka on tiettyyn määritettyyn riskiin liittyvä tieto. Inframodel-vastine on lyhennetty yksinkertainen sanan kaltainen koodi, jota voidaan käyttää tiedonsiirrossa yksiselitteisesti määriteltynä. Viimeisessä sarakkeessa kuvataan tieto, joka Inframodel-vastineen takaa löytyisi.

Kuten kappaleen 2.5 taulukossa 2 kuvattiin IFC-standardin Pset_Risk-ominaisuusjoukkoa, niin tätä valmiiksi määriteltyä ominaisuusjoukkoa olisi mahdollista käyttää tiedon siirtämiseen osassa taulukossa 14 mainittujen attribuuttien kohdalla. Kuitenkin, koska Inframodel on Suomessa käytetyin tiedonsiirtostandardi infrapuolella, niin tutkimuksessa tarkastellaan asiaa vain tästä näkökulmasta.

Vertikaalisesti ehdotus nimikkeistön pohjaksi on jaettu kolmeen osaan, joita on kuvattu värein musta, sininen ja tumman punainen taulukossa 14.

Taulukko 14. Ehdotus riskien nimikkeistöksi Inframodel-standardiin.

Attribuutti	Inframodel-vastine	Arvo
Riskin globaali tunnus	riskIDGL	Riskin globaalisti yksilöivä tunnus
Riskin projektikohtainen numero	riskID	Riskin projektin sisällä yksilöivä numero
Linkki tietokantaan	riskLink	Osoite tietokantaan (URL)
Vastuuhenkilö	riskOwner	Henkilön nimi
Luotu	riskCreated	Riskin luontipäivä
Muokattu viimeksi	riskUpdated	Päivitetty viimeksi
Riskin kuvaus	riskDescription	Riskin jäsennelty selostus
Riskin aiheuttaja	riskCause	Riskin aiheuttajan määrittely
Riskin seuraukset	riskEffect	Riskistä aiheutuvat seuraukset
Muistiinpanot	riskNotes	Muistiinpanot
Tila	riskStatus	01=Määritetty 02=Poistunut 03=Virhekirjaus
Tapahtuman todennäköisyys	riskLikelyhood	Erittäin yleinen, yleinen, satunnainen, harvinainen, erittäin harvinainen
Seurauksen vakavuus	riskSeverity	Erittäin lieviä/vähäisiä, lieviä/vähäisiä, kohtalaisia, suuria, erittäin suuria.

Ensimmäinen joukko kuvaa riskin yksilöimiseksi, löytämiseksi ja ajantasaisuuden ilmoittamiseksi keskeisimmät määrittelyt. Riskin globaalilla tunnuksella viitataan UUID (Universally Unique Identifier) kaltaiseen tunnukseen, jota voidaan pitää hyvin uniikkina 36 merkin tunnuksena, jollaista ei toista ole maailmassa. Tätä yksilöintitunnusmenetelmää käytetään paljon esimerkiksi tietokannoissa (JHS-suositukset 2010). Tällöin riskienhallinnassa voidaan jokainen riski tunnistaa ja eri riskienhallinnan järjestelmienkään tietojen yhdisteleminen ei tuottaisi päällekkäisyyksiä tunnuksissa. Jos riskienhallinta on web-pohjaisessa sovelluksessa (kuva 34), niin riskille voidaan kiinnittää web-linkki, jota klikkaamalla käyttäjälle avautuu riskistä laajemmat tiedot selaimeen. Riskin projektikohtaisella ID-tunnuksella tunnistetaan projekti, johon riski liittyy. Epäselvyyksien välttämiseksi tässäkin voidaan hyödyntää UUID-menetelmää yksilöllisen tunnuksen luomiseksi. Vastuuhenkilöllä tarkoitetaan riskin kirjaajaa tai henkilöä, joka viimeisimmän tiedon perusteella on riskin seuraamisesta vastuussa. Päivämäärät ”luotu” ja ”muokattu” kuvaavat riskin kirjaukseen ja viimeisimpään päivitykseen liittyvää ajankohtaa.

Toinen sinisellä kuvattu joukko keskittyy riskin määrittämiseen liittyvään informaatioon. Kuvaus, aiheuttaja, seuraukset ja muistiinpanot ovat vapaamuotoisia kuvauksia yksilöidystä riskistä ja sen aiheuttajasta, että seurauksista. Riskienhallintatoimenpide olisi tarpeellista lisätä tähän kategoriaan, mutta koska käsitteen takaa löytyy useampia sovelluksia käyttää, niin se on jätetty kokonaan nimikkeistön ehdotuksesta pois. Kuitenkin jatkokehittämisessä käsite olisi välttämätöntä ottaa mukaan tutkimukseen.

Kolmannessa tumman punaisella kuvatussa joukossa kuvataan riskin tämän hetkistä tilaa, todennäköisyyttä ja vakavuutta. Tapahtuman tilalla kuvataan, onko riskin seuranta käynnissä, riski poistunut vai kyseessä virhekirjaus. Todennäköisyyttä ja vakavuutta kuvaavat luokitukset ovat Liikenneviraston käyttämän riskimatriisin terminologiaa.

Ehdotetun nimikkeistöluonnoksen osioissa alaspäin siirryttäessä edetään myös samalla haastavammin yhteisesti ja yksiselitteisesti määriteltäviin asioihin. Yritykset harjoittavat riskienhallintaa eroavaisilla työkaluilla Suomessa ja täten ei ole yksiselitteistä määritelmää, millä tavoin riskejä tulisi kirjata tiedonsiirtämiseksi. Tästä johtuen alan toimijoiden olisi hyödyllistä kehittää yhdessä konsensus asioista, mitä ylipäänsä pitäisi määritellä ja millä tavoin.

5 Johtopäätökset

Kappale arvioi tutkimukselle annettujen tutkimuskysymysten ja tutkimuksen johtopäätöksien vastaavuutta kriittisesti ja menetelmien luotettavuutta. Lopussa arvioidaan ehdotuksia tämän tutkimuksen jatkamiseksi.

5.1 Yhteenveto ja päätelmät

Tutkimukselle asetettiin neljä tutkimuskysymystä työn alussa, jotka olivat seuraavat:

1. Pitäisikö hankkeissa tunnistettuja riskejä kuvata tietomalleissa?
2. Mitä hyötyjä riskien tietomallintaminen voisi antaa riskienhallinnalle?
3. Mitä mahdollisia esteitä käytännön toteutukselle on?
4. Minkälainen nimikkeistö riskienhallinnan tiedolle pitäisi luoda tiedon siirtämiseksi?

Kysymykseen yksi ”Pitäisikö hankkeissa tunnistettuja riskejä kuvata tietomalleissa?” löydettiin pilotoinnin tuloksista, kuin myös osittain haastatteluista, hyvin yksiselitteisesti perusteltu johtopäätös. Haastattelussa ei ollut käytössä vielä esimerkkiä valmiista riskejä sisältävästä tietomallista, josta olisi voinut arvioida riskien tietomallinnuksen hyötyjä visuaalisen mallin avulla. Tästä johtuen pilotoinnin tulokset vastaavat luotettavammin ensimmäiseen tutkimuskysymykseen. Pilotoinnissa löydettiin yhteensä kuusi vahvuutta ja neljä mahdollisuutta. Verrattaessa näitä löydettyjä vahvuuksia ja mahdollisuuksia neljään heikkouteen ja kolmeen uhkaan, jotka olivat kaikki suurimmaksi osaksi tietotekniikan kehittymiseen ja esitystapaan liittyviä, niin riskien tietomallintamista voinee pitää tavoiteltavana jatkossa kaikissa infrahankkeissa. Vain tätä kautta voi syntyä toimintamalli ja parhaat käytänteet.

H2: *”Mitenkään kaikkia tietomallintamisesta saatavia hyötyjä ei osattu ennustaa, joten miten voisimme nyt tietää kaikki riskienhallinnalle syntyvät hyödyt riskejä tietomalliin linkitettäessä.”*

Jo yksinkertainen riskien sijaintitiedon määrittäminen toi selvää lisäarvoa riskienhallinnalle ja visualisoiminen vastaavasti riskejä ulkopuolisesti tarkastelevalle. Tarvitaan kuitenkin paljon lisää pilotoimista erilaisissa hankkeissa ja eri hankevaiheissa asian hyötyjen ja haasteiden tutkimiseksi monipuolisemmin.

Tutkimuskysymykseen kaksi ”Mitä hyötyjä riskien tietomallintaminen voisi antaa riskienhallinnalle?” vastaukset löytyivät kansainvälisestä kirjallisuudesta, että pilottihankkeen johtopäätöksistä. Useampi kansainvälinen tutkimus (Zou et al. 2015a, 2015b, 2016b, 2017) näkee hyötyjä riskitiedon ottamisesta mukaan tietomalleihin, vaikka tutkimus jättäytyykin konkreettisen toteutuksen ulkopuolelle. Pilotissa havaittuja välittömiä hyötyjä löydettiin kuusi, jotka olivat:

1. Riskien tunnistaminen parantui tarkan sijainnin pohtimisen pohjalta.
2. Tunnistetulle riskille voitiin kohdistaa useampikin sijaintitieto tietomallista.
3. Tunnistetulle riskille luotiin eksakti sijaintitieto/tiedot eli informaatio lisääntyi.
4. Antoi nopeasti informatiivisen kokonaiskuvan hankkeen paikkasidonnaisista riskeistä niihin perehtymättömälle.
5. Riskien sijainnillisten kasaumien tunnistaminen parantui.
6. Riskien mallinnustyöstä selvittiin pienellä panoksella.

Riskien kohdistamisessa nähtiin hyötyä riskienhallinnalle laajempana riskin analysointina. Tässä tilanteessa asiantuntija oli pakotettu miettimään asiaa uudella tavalla, kun tarkka sijainti tuli määritettäväksi tekijäksi. Myös jos sijainnin määrittämiselle ei löytynyt keinoa, niin sekin oli analysoinnin tulos. Informaation lisääntyminen voidaan myös nähdä positiivisena asiana, kunhan tieto osataan hallita ja pitää se ajantasaisena. Riskien kokonaisvaltainen hahmottaminen ja niiden kasaumien tunnistaminen nähtiin keskeisimpänä koko riskien tietomallintamisessa. Visuaalisen tietomallin kautta kokonaisuuden näkeminen kerralla voitiin pitää täysin yksiselitteisesti suurena kehitysaskeleena koko riskienhallinnalle. Viimeisenä asiana havaittiin mallintamisen ottavan enemmän aikaa perinteiseen riskienkäsittelyyn verrattuna, mutta kohdistamiseen käytetty aika oli marginaalinen koko riskientunnistamiseen kuluneeseen aikaa nähden. Jatkossa riskien kohdistaminen tietomalliin nähtiin siirtyvän riskityöpajaan ja siten tiiviiksi osaksi normaalia totuttua prosessia.

Kysymykseen kolme ”Mitä mahdollisia esteitä käytännön toteutukselle on?” löytyvät tutkimustulokset haastatteluista ja pilotoinnin johtopäätöksistä. Haastatteluista esiin noussut kysymys tietoteknisistä haasteista toistui myös pilotoinnin ryhmähaastattelussa. Tähän kysymykseen yhdistyivät konetehon riittämättömyys tietomallien jakamisessa hankkeen osapuolten välillä alkuperäistä natiivimallia monistamalla. Pilvipohjaisten tietomallien yleistyminen on kuitenkin jo nähtävissä, mikä poistaa pitkälti kyseisen ongelman. Riskitiedon sitomiseksi tietomalliin puuttuvat vielä täysin alalle yhteisesti sovitut määrittelyt riskien mallintamiseen, joka on myös tiiviisti sidoksissa tiedonsiirrossa käytettäviin nimikkeistöihin. Tiedon sijaitessa suunnittelijan natiivimallissa ilman mahdollisuutta viedä tietoa kolmannelle osapuolelle, ei tutkimuksessa tavoiteltua kokonaisvaltaisempaa riskitiedon leviämistä tietomallien mukana pystytty saavuttamaan. Riskienhallintasuunnitelmasta poimittavalle paikkaan sidottavalle riskille pystytään luomaan visuaalinen objekti ja riskin numero tämän oheen, mutta tällä menettelyllä saavutetaan vain osa tavoitelluista hyödyistä.

Kysymyksessä neljä ”Minkälainen nimikkeistö riskienhallinnan tiedolle pitäisi luoda tiedon siirtämiseksi?” tarkasteltiin aiemman yleisesti nimikkeistöihin liittyvän kansainvälisen ja kansallisen tutkimuksen, että riskienhallinnassa käytettyjen termien avulla. Kappale 4.2 antaa kehitystä vaativan nimikkeistö-ehdotuksen, joka jakaantuu kolmeen eri osaan. Kansalliseksi ohjenuoraksi kehitettäessä on työhön osallistuttava kaikkien riskienhallintaa aktiivisesti Suomessa harjoittavien tahojen, jotta lopputuloksena voidaan saavuttaa käyttökelpoinen menetelmä riskit sisältävien tietomallien tiedonsiirrolle infrahankkeissa ja johon kaikki tahot ovat sitoutuneita.

5.2 Tutkimuksen virhemahdollisuudet

Tutkimuksen reliaabelius eli luotettavuus kuvaa mittaustuloksien toistettavuutta eli kykyä antaa ei-sattumanvaraisia tuloksia. Tämä voidaan todeta monella tapaa, esimerkiksi niin, että kaksi tutkijaa päätyvät samanlaisiin tutkimustuloksiin (Hirsjärvi et al. 1997, s. 216). Tälle tutkimukselle ei syksyllä 2017 löytynyt mitään aiempaa tutkimusta, jossa olisi kvantitatiivisesti arvioitu riskien tietomallintamista käytännössä, joten tulosten luotettavuutta ei pystytä arvioimaan tältä osin. Kansainväliset tutkimukset kuitenkin toteavat yksiselitteisesti, että on ennustettavissa selviä hyötyjä riskitiedon ja tietomallien yhdistämisellä.

Tutkimusmenetelmän kykyä mitata juuri sitä, mikä on tavoiteltavaa mitata, kuvataan käsitteellä validius eli pätevyys. Menetelmä ei aina vastaa todellisuutta, mitä tutkija kuvittelee tutkivansa. Tästä esimerkkinä on kyselylomakkeen kysymyksiin vastanneen väärinymmärrys tutkijan esittämää kysymystä kohtaan. Jos tutkija käsittelee kyselystä saatuja vastauksia

oman alkuperäisen ajattelumallinsa mukaan, niin päädytään pätemättömiin tuloksiin. (Hirsjärvi et al. 1997, s. 216-217.) Käyttämällä puolistrukturoitua haastattelututkimusta, missä jokaista kysymystä avattiin haastateltavan kanssa aina tarpeen vaatiessa, voitiin saavuttaa hyvä validius saatujen tuloksien suhteen. Haastattelututkimuksen ja ryhmähaastattelun tulokset eivät poikenneet haasteltavien välillä merkittävästi, jolloin kysymysten voitaneen olettaa ymmärretyn tasalaatuisesti.

Laadullisen tutkimuksen luotettavuutta parantaa sen tekijän kattava selostus tutkimuksen toteuttamisesta. Haastatteluiden tapauksessa saatetaan kertoa haastattelun paikka, käytetty aika, mahdolliset häiriötekijät, virhetulkinnat haastattelussa ja haastattelijan oma itsearviointi tilanteesta. (Hirsjärvi et al. 1997, s. 217.) Tässä tutkimuksessa kuvailtiin menettely, miten haastattelut toteutettiin, sekä jokaiselle haastateltavalle ennalta lähetetty materiaali. Haastatteluiden yksilölliset kestot taulukoitiin jokaisen haastateltavan toimenkuvan yhteyteen.

5.3 Jatkoselvityksen tarve

Tutkimuksen tulokset ja rajoitteet muodostavat kiinnostavia jatkotutkimusaiheita, joita olisi tärkeä tutkia ennen riskien tietomallintamisen menetelmien ottamista laajamittaisempaan käyttöön eri projekteissa:

- **Tutkimus riskien tietomallintamisen hyödyistä eri hankevaiheissa.** Tässä tutkimuksessa pilotointi rajoittui E18 Kausela–Kirismäki -hankkeen suunnitteluvaiheeseen, jolloin jopa suurimmat hyödyt riskien tietomallintamisen hyödyistä jäivät tutkimatta. Infrahankkeiden kesto aiheuttaa suuria haasteita tämän asian tutkimiselle laajemmalta eri hankevaiheissa ja niiden välillä siirryttäessä. Looginen jatkotutkimus olisi infrahankkeen rakennusvaiheen tutkiminen hankkeesta, jossa riskit ovat tietomallinnettu jo suunnitteluvaiheessa. Kun seuraavassa hankevaiheessa asiantuntijat tutustuvat täysin vailla ennakkotietämystä hankkeen riskeihin, niin voidaan verrata tilanteita tietomallia hyödyntäen ja ilman keskenään eroavaisuuksien konkretisoimiseksi.

- **Miten suurempi paikkasidonnaisten riskien määrä vaikuttaisi tuloksiin?** Olisi syytä tutkia tämän tutkimuksen pilottia isommassa hankkeessa hyötyjä ja haasteita, kun mallinnettavien riskien määrä kasvaisi. Miten määrän kasvu vaikuttaisi riskien esitystavan selkeyteen mallissa. Suuremmalla riskimäärällä sijainnin hahmottaminen pelkän listauksen avulla vaikeutuu, jolloin olisi oletettavaa, että tietomallista saatava hyöty olisi vielä isompi.

- **Miten paikkaan sitomattomien riskien kohdalla tulisi menetellä, jotta ne eivät jäisi mallinnettujen riskien varjoon?** Riskit joille sijaintia ei pystytä järkevästi kohdistamaan ovat kiinnostava tutkimusaihe. Tässä ensimmäinen kysymys on, että jäävätkö mallintamattomat riskit mallinnettujen riskien varjoon. Toisena kysymyksenä se, että saataisiinko paikkaan sitomattomatkin riskit linkitettyä jollain käyttökelpoisella tavalla tietomalliin.

- **Miten suunnitteluohjelmistojen ja riskitietokantojen rajapintoja tulisi sekä hyödyntää että kehittää palvellakseen parhaimmalla tavalla riskienhallintaa?** Kaikki infrapuolen suunnitteluohjelmistot eivät tarjoa avoimia kehitysympäristöjä lisäohjel-

mille ja näiden osalta riskien siirtäminen tietomalliin on tämän tutkimuksen aikana syntyneen käsityksen mukaan hyvin vaikeata. Suunnitteluohjelmistoissa joissa rajapinnat löytyvät voidaan yleisiä ohjelmointikieliä hyödyntäen luoda tarvittavat ratkaisut, mutta vastaavasti rajapinta pitää löytyä riskienhallinnassa riskitiedon puolelta. Esimerkiksi kansallisesti vuoden 2018 alusta infrapuolella käyttöön otettava Liikenneviraston TURI-riskitietojärjestelmä ei vielä tue minkäänlaista rajapintaa tiedonsiirtämiseksi toisen järjestelmän välillä.

- **Nimikkeistön jatkokehitys riskien tiedonsiirtoon.** Tutkimuksessa esitettiin ensimmäinen ehdotelma riskien nimikkeistöstä. Jatkotutkimus BuildingSMART Finlandille alan toimijoiden kesken on aiheellista. Tällä hetkellä alan toimijoiden on erittäin haastavaa yrittää siirtää tietoa, kun ei ole yhteisiä määrittelyitä tiedonsiirtostandardeissa. Kansainvälisesti ei ole valmista mallia, joten kansallisen toimintamallin luominen on välttämätöntä.

Lähdeluettelo

Autodesk. (2017) *Developer Network.* [viitattu 15.12.2017]. Saatavissa: http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?id=1911627&siteID=123112

Azhar, S. (2011) *Building information modeling (BIM): trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry.* Leadership and Management in Engineering. Vol. 11(3). S. 241-252. DOI:10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127.

Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Li, N., Calis, G. (2011) *Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management.* Journal of Construction Engineering and Management. Vol. 138. S. 431-442. DOI:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433.

Behm, M. (2006) *Linking construction fatalities to the design for construction safety concept.* Safety Science. Vol. 43(8). S. 589-611. DOI:10.1016/j.ssci.2005.04.002.

Bentley. (2017) *Developer Network.* [viitattu 15.12.2017]. Saatavissa: https://www.bentley.com/en/software-developers

Bew, M. & Richards, M. (2008) *BIM Maturity Diagram*

Bhatla, A., Choe, S.Y., Fierro, O., Leite, F. (2012) *Evaluation of accuracy of as-built 3D modeling from photos taken by handheld digital cameras.* Automation in Construction. Vol. 28. S. 116-127. DOI:10.1016/j.autcon.2012.06.003.

bSF (buildingSMART Finland). (2015) *InfraBIM-nimikkeistö v. 1.6.* [viitattu 17.9.2017]. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/InfraBIM_nimikkeisto_v1_6.pdf

bSF (buildingSMART Finland). (2017a) *buildingSMART Finland.* [viitattu 17.9.2017]. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/#bsf

bSF (buildingSMART Finland). (2017b) *Yleiset inframallivaatimukset.* [viitattu 30.9.2017]. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/

bSF (buildingSMART Finland). (2017c) *Inframodel4 käyttöön 1.2.2018.* [viitattu 22.12.2017]. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2017/12/bSF_Inframodel4_kayttoon_tiedote_20171129.pdf

bSF (buildingSMART Finland). (2017d) *InfraBIM-nimikkeistö etusivu.* [viitattu 22.12.2017]. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/infrabim/infrabim-nimikkeisto/

Chen, L. & Luo, H. (2014) *A BIM-based construction quality management model and its applications.* Automation in Construction. Vol. 46. S. 64-73. DOI:10.1016/j.autcon.2014.05.009.

Chien, K.-F., Wu, Z.-H. & Huang, S.-C. (2014) *Identifying and assessing critical risk factors for BIM projects: Empirical study.* Automation in Construction. Vol. 45. S. 1-15. DOI:10.1016/j.autcon.2014.04.012

Chiu, C.-T., Hsu, T.-H., Wang, M.-T. & Chiu, H.-Y. (2011) *Simulation for steel bridge erection by using BIM tools.* Conference: 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. DOI:10.22260/ISARC2011/0102.

Creaser, W (2008). *Prevention through design (PtD) safe design from an Australian perspective.* Journal of Safety Research. Vol. 39(2). S. 131-134.

Ding, L.Y., Zhong, B. T., Wu, S. & Luo, H. B. (2016) *Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic web technology.* Safety Science. Vol. 87. S. 202-213. DOI:10.1016/j.ssci.2016.04.008

Dingsdag, D., Biggs, H. & Sheahan, V. (2006) *Safety culture in the construction industry : changing behaviour through enforcement and education?* Clients Driving Innovation: Moving Ideas into Practice (12-14 March 2006). The Second International Conference of the CRC for Construction Innovation. 12-14 March 2006. Surfers Paradise, Gold Coast, Australia.

Dossick, C.S. & Neff, G. (2011) *Messy talk and clean technology: communication, problem-solving and collaboration using Building Information Modelling.* Engineering Project Organization Journal. Vol. 1. S. 83-93. DOI:10.1080/21573727.2011.569929.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K. (2008) *BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors.* ISBN 978-0-470-185285.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K. (2011) *BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors.* ISBN 978-0-470-95134.

El-Sayegh, S. M. (2008) *Risk assessment and allocation in the UAE construction industry.* International Journal of Project Management. Vol. 26:4. S. 431-438. DOI:10.1016/j.ijproman.2007.07.004

Enger, T. (2017) *Kirjeenvaihto 16.11.2017 Ramboll Norja asiantuntija Tom Engerin kanssa.*

Enshassi, A. (2016) *BIM for construction safety improvement in Gaza strip: awareness, applications and barriers.* Journal International Journal of Construction Management. Vol. 16. S. 249-265. DOI:10.1080/15623599.2016.1167367

Ernst & Young Oy. (2017) *Selvitys Länsimetrohankkeesta, Länsimetro Oy:n toiminnasta ja Länsimetroon liittyvästä päätöksenteosta.* [viitattu 17.12.2017]. Saatavissa: http://www.espoo.fi/download/noname/%7BE9AE2538-B0AF-44E1-81F1-BA721E148A41%7D/93780

Feng C.W. & Lu S.W. (2017) *Using BIM to automate scaffolding planning for risk analysis at construction sites.* Proceedings of the 34rd ISARC. S. 610-617. DOI:10.22260/ISARC2017/0085.

Finnmap Infra. (2017) *Ryhmähaastattelu Markku Pienimäen, Mikko Erjon ja Timo Salmansaaren kanssa 30.8.2017 klo 10:09-11:59 Finnmap Infra Oy:n toimistolla, sekä pilottiin liittyvät asiakirjat ja kuvankaappaukset tietomallista.*

Gibb, A., Haslam, R., Hide, S. & Gyi, D. (2004) *The role of design in accident causality.* Designing for Safety and Health in Construction. UO Press, Eugene.

Grilo, A. & Jardim-Goncalves, R. (2010*) Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments.* Automation in Construction. Vol. 19. S. 522-530. DOI:10.1016/j.autcon.2009.11.003

Guo, H., Li, H., Chan, G. & Skitmore, M. (2012) *Using game technologies to improve the safety of construction plant operations.* Accident Analysis and Prevention. Vol. 48. S. 204-213. DOI:10.1016/j.aap.2011.06.002.

Hardin, B. (2011) *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows.* ISBN 978-1118059128.

Hardin, B. & McCool, D. (2015) *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows.* ISBN 978-1-118-94278-9.

Hartmann, T., Gao, J. & Fischer, M. (2008) *Areas of application for 3D and 4D models on construction projects.* Journal of Construction Engineering and Management. Vol. 134(10). S. 776-785. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:10(776).

Hartmann, T., van Meerveld, H., Vossebeld, N. & Adriaanse, A. (2012) *Aligning BIM tools and construction management methods.* Automation in Construction. Vol. 22. S. 605-613. DOI:10.1016/j.autcon.2011.12.011.

Helsingin Sanomat. (2017) *Uutinen 25.1.2017.* [viitattu 17.12.2017]. Saatavissa: https://www.hs.fi/kaupunki/art-2000005060308.html

Hillson, D. (2003) *Using a Risk Breakdown Structure in Project Management.* Journal of Facilities Management. Vol. 2(1). S. 85-97. DOI:10.1108/14725960410808131.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. (1997) *Tutki ja kirjoita.* ISBN 951-26-5113-0.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. (2007) *Tutki ja kirjoita.* ISBN 951-26-5635-3.

ILO. (2005) *Fact Sheet on Safety at Work. International Labour Organization, Geneva, Switzerland.* [viitattu 5.12.2017]. Saatavissa: http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/publication/wcms_067574.pdf

JHS-suositukset. (2010) *JHS 159 ISO OID-yksilöintitunnuksen soveltaminen julkishallinnossa, Liite 2 Esimerkkejä yksilöintijärjestelmistä.* [viitattu 25.11.2017]. Saatavissa: http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS159/JHS159_liite2.odt

Ji, Y., Borrmann, A., Beetz, J. & Obergriesser, M. (2013) *Exchange of parametric bridge models using a neutral data format.* Journal of Computing in Civil Engineering. Vol. 27(6). S. 593-606. DOI:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000286.

Järvinen, P. & Järvinen, A. (1995) *Tutkimustyön metodeista.* Opinpaja Oy. ISBN 951-97113-1-7.

Kamardeen, I. (2010) *8D BIM Modelling Tool For Accident Prevention Through Design.* Egbu, C. (Ed)Procs 26th Annual ARCOM Conference. 6-8 September 2010. Leeds, UK. Association of Researchers in Construction Management. S. 281-289.

Kartam, N. A. & Kartam, S. A. (2001) *Risk and its management in the Kuwaiti construction industry: a contractors' perspective.* International Journal of Project Management. Vol. 19(6). S. 325-335. DOI:10.1016/S0263-7863(00)00014-4.

Kasanen, E., Lukka, K. & Siitonen, A. (1993) *The Constructive Approach in Management Accounting Research.* Journal of Management Accounting Research. Vol. 5. S. 243-264. ISSN 1049-2127.

Kazi, A. S. (2005) *Knowledge Management in the Construction Industry: A Socio-Technical Perspective.* IGI Global, USA. ISBN 1-59140-360-X

Keenliside, S., Liebich, T. & Grobier, F. (2012) *Kuva esityksestä IFC for INFRAstructure.* [viitattu 4.9.2017]. Saatavissa: https://asiakas.kotisivukone.com/files/buildingsmart.kotisivukone.com/19.11_seminaarin_esitykset/ifc_for_infrastructure_2013_bsi_thomasliebich.pdf

Kim, J.B., Clayton, M.J. & Yan, W. (2011) *Parametric Form-Based Codes: Incorporation of Land-use Regulations into Building Information Models.* Parametricism (SPC) ACADIA Regional 2011 Conference. Lincoln, Nebraska, United States. S. 217-223.

Kim, T.W., Kavousian, A., Fischer, M. & Rajagopal, R. (2012) *Improving Facility Performance Prediction by Formalizing an Activity-Space-Performance Model. CIFE Technical Paper 210.* CIFE, Civil and Environmental Engineering Dept. Stanford University.

Kiviniemi, M., Sulankivi, K., Kähkönen, K., Mäkelä, T. & Merivirta, M.-L. (2011) *BI-Based Safety Management and Communication for Building Construction. VTT Research Notes 2597.* ISBN 978-951-38-7783-5.

Kolodner, J. L. (1991) *Improving Human Decision Making through Case-Based Decision Aiding.* AI Magazine Vol. 12(2). S. 52-68. DOI:10.1609/aimag.v12i2.895.

Laakso, M. & Kiviniemi, A. (2012) *The IFC standard – a review of history, development, and standardization.* Electronic Journal of Information Technology in Construction. Vol. 17. S. 134-161.

Lee, G., Park, H.K. & Won, J. (2012a) *D3 City project—economic impact of BIM-assisted design validation.* Automation in Construction. Vol. 22. S. 577-586. DOI:10.1016/j.autcon.2011.12.003.

Lee, S.-I., Bae, J.-S., Cho, Y.S. (2012b) *Efficiency analysis of Set-based Design with structural building information modeling (S-BIM) on high-rise building structures.* Automation in Construction. Vol. 23. S. 20-32. DOI:10.1016/j.autcon.2011.12.008.

Liikennevirasto. (2012) *Turvallisuus - INFRA riskikartta.* [viitattu 7.12.2017]. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf4/turvallisuus_infrariskikartta.xls

Liikennevirasto. (2015a) *Liikenneviraston ohjeita 28/2015. Riskienhallinta väylänpidossa.* [viitattu 17.9.2017]. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2015-28_riskienhallinta_vaylanpidossa_web.pdf

Liikennevirasto. (2015b) *Tietomallien hyödyntäminen tien yleissuunnittelussa.* [viitattu 17.9.2017]. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2015-03_tietomallien_hyodyntaminen_web.pdf

Liikennevirasto. (2015c) *Inframodel3-tiedonsiirtoformaatti otetaan yleiseen käyttöön.* [viitattu 26.10.2017]. Saatavissa: https://www.liikennevirasto.fi/palveluntuottajat/inframallit/inframodel3-tiedonsiirtoformaatti-otetaan-yleiseen-kayttoon#.WfED9U1dCUk

Liikennevirasto. (2015d) *Kuinka infra-alliansseja kilpailutetaan, tarjotaan ja toteutetaan.* [viitattu 17.12.2017]. Saatavissa: http://skolry.fi/sites/skol/files/RakFoorumi_Allianssi15PxP.pdf

Liikennevirasto. (2017a) *Liikenneviraston ohjeita 39/2017. Riskienhallinta väylänpidossa.* [viitattu 21.12.2017]. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-39_riskienhallinta_vaylanpidossa_web.pdf

Liikennevirasto. (2017b) *Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje.* [viitattu 30.9.2017]. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-12_tie_ratahankkeiden_web.pdf

Liikennevirasto. (2017c) *Vertailu Euroopan rautateiden monitoimijaympäristöistä.* [viitattu 14.10.2017]. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lr_2017_vertailu_euroopan_web.pdf
Liukas, J. 2017. *Infran kansainvälinen standardointi – Infra-O kick-off 25.4.2017.* [viitattu 10.10.2017]. Saatavissa: http://www.infra-o.fi/dokumentit/kickoff/04_Liukas_Juha.pdf

Liikennevirasto. (2017d) *Turvallisuuspoikkeamien ja riskienhallinnan tietojärjestelmä.* [viitattu 20.11.2017]. Saatavissa: https://testiextranet.liikennevirasto.fi/turi-koulutus/

Liu, W.P., Guo, H.L., Li, H. & Li, Y. (2014) *Using BIM to improve the design and construction of bridge projects: a case study of a long-span steel-box arch bridge project.* International Journal of Advanced Robotic Systems. Vol. 11(1). S. 125. DOI:10.5772/58442.

Lukka, K. (2000) *The Key Issues of Applying the Constructive Approach to Field Research.* Management Expertise for the New Millenium. Publications of the Turku School of Economics and Business Administration. A-1. S. 113-128.

Malekitabar H., Ardeshir A., Sebt, M. H. & Stouffs, R. (2015) *Construction safety risk drivers: A BIM approach.* Safety Science. Vol. 82. S. 445-455. DOI:10.1016/j.ssci.2015.11.002.

Marzouk, M. & Hisham, M. (2014) *Implementing earned value management using Bridge Information Modeling.* KSCE Journal of Civil Engineering. Vol. 18(5). S. 1302-1313. DOI:10.1007/s12205-014-0455-9.

Motawa, I. & Almarshad, A. (2013) *A knowledge-based BIM system for building maintenance.* Automation in Construction. Vol. 29. S. 173-182. DOI:10.1016/j.autcon.2012.09.008.

PAS 1192-6. (2017) *Specification for collaborative sharing and use of structured hazard and risk information for Health and Safety. Second draft 1.0.* London, United Kingdom: The British Standards Institution. 59 s.

PMI (Project Management Institute, Inc.). (2013) *Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide): Project Risk Management.* ISBN 978-1-62870-038-1.

Porwal, A. & Hewage, K.N. (2013) *Building Information Modeling (BIM) partnering framework for public construction projects.* Automation in Construction. Vol. 31. S. 204-214. DOI:10.1016/j.autcon.2012.12.004.

Rajabifard, A., Williamson, I. & Kalantari, M. (2012) *A National Infrastructure for Managing Land Information — Research Snapshot. The University of Melbourne.* ISBN 978-0-646-59180-3.

Rakennuslehti. (2017) *Uutinen 19.9.2017.* [viitattu 29.12.2017]. Saatavissa: https://www.rakennuslehti.fi/2017/09/tana-vuonna-jo-kaksi-ilmajohtoihin-liittyvaa-sahkoiskukuolemaa/

Ramboll. (2017) RamRisk - Professional Risk and Safety management Tool. [viitattu 17.11.2017]. Saatavissa: https://ramrisk.com/

Rodrigues F., Estrada J., Antunes, F. & Swuste, P. (2017) *Safety Through Design: A BIM-Based Framework.* Conference: International Congress and Exhibition "Sustainable Civil Infrastructures: Innovative Infrastructure Geotechnology". DOI:10.1007/978-3-319-61645-2_9.

RT 10-10992. (2010) *Tietomallinnettava rakennushanke, ohjeita rakennuttajalle.* Helsinki: Rakennustieto Oy. 13 s.

Ruikar, D. (2016) *Using BIM to mitigate risks associated with health and safety in the construction and maintenance of infrastructure assets.* Conference: SUSTAINABLE CITY 2016. DOI:10.2495/SC160711.

Saarnikko, J. (2016) *Infraomaisuuden hallinnan nimikkeistö. Diplomityö. Aalto-yliopisto Insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo. 108 s.*

Sacks, R. & Barak, R. (2008) *Impact of three-dimensional parametric modeling of buildings on productivity in structural engineering practice.* Automation in Construction. Vol. 17(4). S. 439-449. DOI:10.1016/j.autcon.2007.08.003.

Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A. & Owen, R. (2009) *Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction.* Journal of Construction Engineering and Management. Vol. 136(9). DOI:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203.

Schenkwein, M. (2017) *Haastattelu puhelimen välityksellä VR-Track Oy Marion Schenkweinin kanssa 20.12.2017 klo 15:36-15:49.*

SFS-ISO 31000. (2011) *Riskienhallinta. Periaatteet ja ohjeet.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 52 s.

SFS-ISO 31004. (2014) *Riskienhallinta. Ohjeita standardin ISO 31000 soveltamisesta.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 78 s.

Shim, C.-S., Lee, K.-M., Kang, L. S., Hwang, J. & Kim, Y. (2012) *Three-Dimensional Information Model-Based Bridge Engineering in Korea.* Structural Engineering International. Vol. 22(1.) S. 8-13. DOI:10.2749/101686612X13216060212834.

Tah, J. & Carr, V. (2001) *Knowledge-based approach to construction project risk management.* Journal of Computing in Civil Engineering. Vol. 15(3). DOI:10.1061/(ASCE)0887-3801(2001)15:3(170).

Tang, P., Anil, E., Akinci, B. & Huber, D. (2011) *Efficient and effective quality assessment of as-is building information models and 3D laser-scanned data.* Conference: International Workshop on Computing in Civil Engineering. DOI:10.1061/41182(416)60.

Tapaturmavakuutuskeskus. (2015) *Tilastojulkaisu vuoden 2014 työtapaturmatilastoista.* [viitattu 10.11.2017]. Saatavissa: http://www.tvk.fi/templates/vinha/services/download.aspx?fid=365409&hash=a08f59951ab1f5e1c2a7fbbb1503cb7744ee03d1c25a10c8cbbe312b30b85c9f

Teizer, J. (2008) *3D range imaging camera sensing for active safety in construction.* Electronic Journal of Information Technology in Construction. Vol. 13. S. 103-117.

Tomek, A. & Matějka, P. (2014) *The impact on BIM on risk management as an argument for its implementation in a construction company.* Procedia Engineering. Vol. 85. S. 501-509. DOI:10.1016/j.proeng.2014.10.577.

Trafi. (2015) *Varautuminen rautatiejärjestelmässä.* [viitattu 2.10.2017]. Saatavissa: https://www.trafi.fi/filebank/a/1447671584/ee7d997685cfe83406d49bd416ae6c90/19035-Trafin_julkaisuja_06-2015_-_Varautuminen_rautatiejarjestelmassa.pdf

Turner Construction. (2013) *Kuvankaappaukset diaesityksestä.* [viitattu 20.12.2017]. Saatavissa: http://bimforum.org/wp-content/uploads/2013/09/2013-08-06-Turner-NIOSH.AGC-Using-BIM-to-Eliminate-Construction-Site-Hazards-Operations-Stage.pdf

Turun Sanomat. (2017) *Uutinen 18.8.2017.* [viitattu 17.12.2017]. Saatavissa: http://www.ts.fi/uutiset/paikalliset/3621256/Kaupunginteatterin+peruskorjauksen+hinnaksi+45+miljoonaa+euroa

Varsinais-Suomen ELY-keskus. (2017a) *Hankekortti.* [viitattu 24.10.2017]. http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/169730/1_2018_TIE+E18+kt+40+Kausela-Kirism%C3%A4ki.pdf/2c9ec446-fff4-4cbd-944a-f4202f6b58e6

Varsinais-Suomen ELY-keskus. (2017b) *Yleissuunnitelman esite.* [viitattu 24.10.2017]. Saatavissa: http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/169730/Turun_keh%C3%A4tie_YS_ESITE_LRes.pdf/e68b95aa-adf5-4900-959b-0e61108229bc

Vesalainen, Eveliina. (2017) *Tietomallipohjaiset nimikkeistöt taloteknisen mallin vakioinnissa. Diplomityö. Aalto-yliopisto Insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo. 69 s.*

Volk, R., Stengel, J. & Schultmann, F. (2014) *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — literature review and future needs.* Automation in Construction. Vol. 38. S. 109-127. DOI:10.1016/j.autcon.2013.10.023.

VR Track. (2015) *Riskienhallinta inframalleissa – menettelyohje. Versio 1.0. Laatija Joona Malmivaara 4.12.2015. Luottamuksellinen.*

VTT. (2003) *InfraModel Osa 4 LandXML / Otsikkotiedot.* [viitattu 4.10.2017]. Saatavissa: http://cic.vtt.fi/projects/inframodel/Documents/infraModel_4_2004-01-23_Otsikkotiedot.pdf

VTT. (2007) *Infra-tuotetietomallistandardit - selvitys Suomalaisen infra-tuotetietomallin perustaksi.* [viitattu 17.11.2017]. Saatavissa: http://www.rts.fi/infrabim/Infra_standardit_VTT_Tutkimusraportti_071219.pdf

VTT. (2009) *Tietomalli ja työmaan turvallisuus -tutkimusraportti.* [viitattu 17.9.2017]. Saatavissa: http://www.vtt.fi/files/projects/turvabim/turvabim_loppuraportti_090312.pdf

Wang, M.T. & Chou, H.Y. (2003) *Risk allocation and risk handling of highway projects in Taiwan.* Journal of Management in Engineering. Vol. 19(2). S. 60-68. DOI:10.1061/(ASCE)0742-597X(2003)19:2(60).

Wang, B., Li, H., Rezgui, Y., Bradley, A. & Ong, H.N. (2014) *BIM based virtual environment for fire emergency evacuation.* Hindawi Publishing Corporation. The Scientific World Journal. Vol. 2014. Article ID. 589016. DOI:10.1155/2014/589016.

Wardhana, K. & Hadipriono, F. C. (2003) *Analysis of recent bridge failures in the United States.* Journal of Performance of Constructed Facilities. Vol. 17(3). DOI:10.1061/(ASCE)0887-3828(2003)17:3(144).

Whyte, J. (2002) *Virtual Reality and the Built Environment.* Presence Teleoperators & Virtual Environments. Vol. 12(5). S. 550-552. DOI:10.1162/105474603322761333.

YIV. (2015a) *Yleiset inframallivaatimukset. Osa 2 Yleiset mallinnusvaatimukset.* [viitattu 27.11.2017]. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015 Mallinnusohjeet_OSA2_Yleiset_Vaatimukset_V_1_0.pdf

YIV. (2015b) *Yleiset inframallivaatimukset. Osa 10 Havainnollistaminen.* [viitattu 29.12.2017]. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/02/YIV2015_OSA_10_Havainnollistaminen_250216.pdf

YTV. (2012) *Yleiset tietovaatimukset YTV2012.* [viitattu 29.12.2017]. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/yleiset-tietomallivaatimukset-ytv/

Zhang S., Teizer, J., Lee, J., Eastman C. M. & Venugopal M. (2012) *Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules.* Automation in Construction. Vol. 29. S. 183-195. DOI:10.1016/j.autcon.2012.05.006.

Zhang, L., Wu, X., Skibniewski, M. J., Zhong, J. & Lu, Y. (2014) *Bayesian-network-based safety risk analyses in construction projects.* Reliability Engineering & System Safety. Vol. 131. S. 29-39. DOI:10.1016/j.ress.2014.06.006.

Zhou, W., Whyte, J. & Sacks, R. (2012) *Construction safety and digital design: A review.* Automation in Construction. Vol. 22. S. 102-111. DOI:10.1016/j.autcon.2011.07.005.

Zou, P. X. W., Zhang, G. & Wang, J. (2007) *Understanding the key risks in construction projects in China.* International Journal of Project Management. Vol. 25(6). S. 601-614. DOI:10.1016/j.ijproman.2007.03.001.

Zou, Y. (2017) *Kirjeenvaihto tohtori Yang Zoun kanssa joulukuussa 2017 ja sen pohjalta vastaanotettu taustamateriaali (HSE meeting slides - BIM and Knowledge Based Risk Management System 22.3.2017).*

Zou, Y., Stephen J. W. & Kiviniemi, A. (2015a) *BIM and Knowledge Based Risk Management System: A Conceptual Model.* Conference: CITA BIM Gathering 2015. Dublin, Ireland.

Zou, Y., Kiviniemi, A. & Stephen J. W. (2015b) *BIM-based Risk Management: Challenges and Opportunities.* Conference: 32nd CIB W78 Conference 27-29 October 2015. Eindhoven, The Netherlands.

Zou, Y., Kiviniemi, A. & Stephen J. W. (2016a) *A review of risk management through BIM and BIM-related technologies.* Safety Science. Vol. 97. S. 88-98. DOI:10.1016/j.ssci.2015.12.027.

Zou, Y., Kiviniemi, A. & Stephen J. W. (2016b) *Developing a tailored RBS linking to BIM for risk management of bridge projects.* Engineering Construction & Architectural Management. Vol. 23(6). S. 727-750. DOI:10.1108/ECAM-01-2016-0009.

Zou, Y., Kiviniemi, A. & Stephen J. W. (2017) *A Framework of Integrating Knowledge Management and Collaboration into BIM for Risk Information Management.* Conference: 5th International Workshop – When Social Science meets Lean and BIM. Aalborg, Denmark.

Liiteluettelo

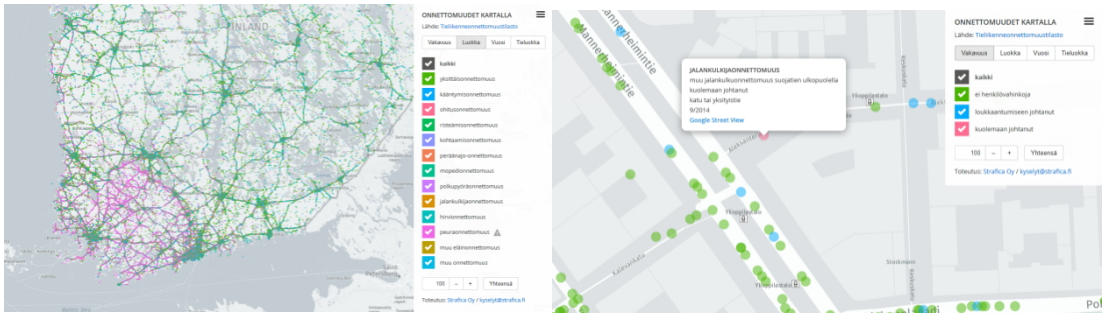
Liite 1. Haastattelukysymykset

Esitiedot (nimi, toimenkuva, lyhyt kuvaus työtehtävistä, missä väylän elinkaaren eri vaiheissa olet mukana)

1. Kuinka suuri osa projekteistasi on toteutettu tietomallintamalla nyt?
2. Kuinka tuttua riskinarviointi on sinulle?
3. Mitä menetelmiä ja ohjeistuksia käytätte riskienhallinnassa?
4. Miten mielestänne riskitieto kulkee projektin koko elinkaaren aikana?
5. Miten hyvin riskejä seurataan ja niistä tiedotetaan projektin suunnittelussa/toteuttamisessa? Entä kunnossapidossa?
6. Onko riskinarvioiden liittäminen tietomalliin noussut projekteissa esille?
7. Mitä näet isoimpana haasteena ja entä mahdollisuutena, jos riskien arviointi olisi osa tietomallia?
8. Mitä tietoa riskeistä haluaisit nähdä? Mitä riskitietoa tarvitset?
9. Mitä konkreettisia ideoita sinulla on riskien tietomallintamisen käytännön toteutukseen?

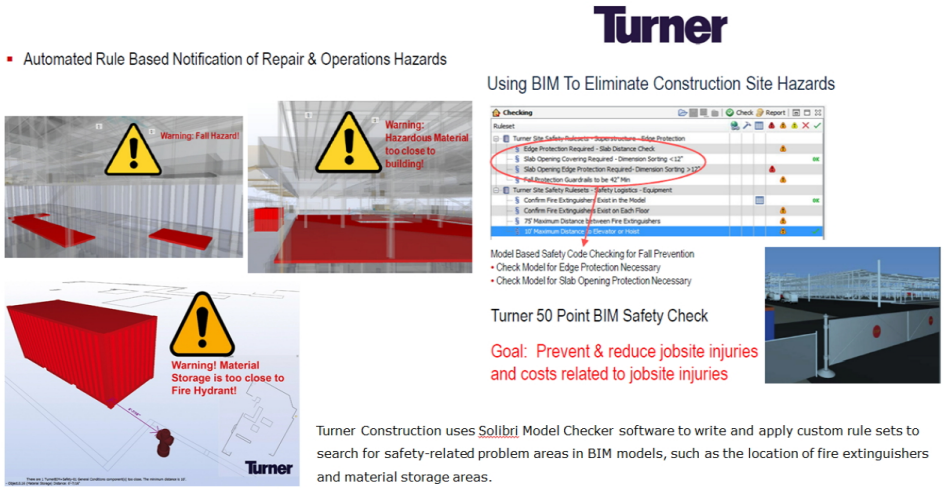
Liite 2. Haastatteluiden havainnemateriaali

The University of Arizona



Strafica-palvelu

VR Track



Turner Construction

Liite 3. Sähköinen lomakekysely

RAMBOLL

RiskBIM survey for professionals

This survey is a part of my master of thesis which aims to find ways to use BIM with risk management. What kind of benefits there will be for risk management and how to present risks in the BIM model?

Please answer if possible before Friday Nov 16th 2017.
It will take approximately 3-8 minutes!
Many thanks in advance for your time!

With best regards,
Lari Tuominen
Master thesis worker

1. Background information

Name	
Company	
Role	
Country	

2. What kind of projects are you mostly working with?

- ☐ Infra
- ☐ Structural
- ☐ Architectural
- ☐ Other

3.
How many percent of your projects have been done with BIM this year?

0 %

0% 100%

☐ I don´t know

4. Have you heard/discussed the possibilities to use risk management with BIM?

- ○ No
- ○ Yes

5. If you answered YES, what kind of dialogues have you heard/participated?

e.g. informal discussion, project, research

6. What kind of challenges would you perceive in embedding risk information into BIM models?
Here we mean such risk information that is easily locatable to precise coordinates or areas.

e.g. Have the project participants enough and correct tools available to use BIM models?

7. Do you have ideas how to realize (implement) integration?

Submit

Liite 4. Riskilistaus hankkeen E18 Kausela-Kirismäki tie-suunnitelmasta.

Riskilomake

Sivu 1 / 8
Luottamuksellinen

RISKIENHALLINTASUUNNITELMA, TURVALLISUUS
E18 Turun kehätie
Vesa Virtanen, Antti Kärki, Jaana Kalliolaakso, Lauri Harjula, Mikko Erjo
24.8.2017

V luokka = vaatii välittömiä toimenpiteitä
IV luokka = toimenpiteet tässä suunnittelu-vaiheessa
III luokka = suunniteltava toimenpiteet myöhemmin toteutettavaksi
II luokka = seurataan

Rivikorkeus (ctrl+F2)

Nro	VAARA / ONGELMA / HÄIRIÖ	VAARATILANTEEN KUVAUS	Todennäköisyys	Vakavuus	TP-luokka	VARAUTUMINEN / TOIMENPIDE-EHDOTUS / SEURANTA	Vastuutaho	Päiväys
	1. KOHDE							
	1.1. Rakennushankkeen ominaisuudet							
	1.2. Rakennushankkeen luonne							
1	Lähellä sijaitseva asutus ja rakennukset sekä käytössä olevat tiet aiheuttavat ruuhka-ajan ja taajaman läheisyyden vaatimia rajoituksia	Ruuhkan synnyttämät rajoitukset hidastavat työntekoa.	4	3	III	Rajoitusten huomioon ottaminen aikataulutuksessa.	Päätoteuttaja	
2	Suunnittelun tai rakentamisen aikana löytyvät muinaisjäännökset ja/tai historiallisen ajan kohteet.	Hankkeen viivästyminen, suunnitelman muutokset, mahdolliset lisäkustannukset.	3	2	II	Lisätutkimustarpeita ohjelmoitu ja suoritettu lisäinventointien muodossa. Vuoropuhelu Museoviraston kanssa.	Tilaaja, suunnittelija, päätoteuttaja	
3	Vaiheittain rakentaminen, suunnittelu	Suunnittelussa on varauduttu vaiheittain rakentamiseen. Toteutaminen päätetään tehdä lähtökohdasta (30 M€) poikkeavasti, jos hanke saa lisärahoitusta. Tästä seuraa aikataulutuksen suunnittelun valmistumiselle.	3	1	I	Tiesuunnittelussa keskitytään lopputilanteen ratkaisuihin ja ST-asiakirjoissa 1 toteutusvaiheen ratkaisuihin. Rahoitustilanteen muuttuminen vaatii lisäresursseja suunnitteluun.	Tilaaja, suunnitelija	
4	Vaiheittain rakentaminen, toteuttaminen	ST-asiakirjat laaditaan koskien ensimmäistä toteutusvaihetta (30 M€), jonka jälkeen saadaankin lisärahoitus. ST-asiakirjat on muutettava kattamaan laajempi toteutus. Seuraa aikataulutuksen ST urakan aloitukseen.	3	2	II	Seurataan tarkasti lisärahoituksen tilannetta.	Päätoteuttaja	
	1.3. Rakennushankkeen olosuhteet							
5	Asutusta, kouluja ja muuta toimintaa hankkeen läheisyydessä. Taajamakohde, jossa yritys-/asiakasliikennettä paljon.	Kevyt liikenne ja tienkäyttäjien turvallisuus heikkenee toteutusvaiheessa. Vanhat totutu reitit muuttuvat lisäävät oikomista työmaan läpi. Ei huomioida kaikkia alueella liikkuvia/olevia, jolloin jonkun asiakas-/käyttäjäryhmän turvallisuus heikkenee toteutusvaiheessa.	3	3	III	Huolehdittava riittävästä tiedottamisesta hankkeen aikana. Huolehdittaan riittävästä suojaamisesta/aitaamisesta (mm. kaivantojen kohdat). Huomioidaan turvallisuusratkaisuja pohdittaessa kaikki tienkäyttäjä- ja asiakasryhmät alueella, lisäksi huomioidaan joukkoliikenne ja sen käyttäjät.	Tilaaja, päätoteuttaja	
6	Runkovesijohdon sijainti työkohteen lähellä	Putki rikkoutuu. Erityisesti Tuulissuon eritasoliittymän poikki kulkeva runkovesijohto (päävesijohto Paraisille) aiheuttaa rikkoutuessaan katkoksen liikenteeseen ja vedensyöttöön laajalla alueella.	2	5	IV	Riittävät tiedot putken sijainnista, merkitseminen ja erityinen varovaisuus.	Päätoteuttaja	
7	Työn takia purettavat rakenteet ja laitteet	Nykyisten siltojen ja rakennatavien siltojen muottien purku vilkkaasti liikennöidyllä osuuksilla vt 1 ja vt 10 aiheuttaa vaaratilanteita.	2	3	II	Työntekijöiden perehdyttäminen. Työmaan siisteyden ja järjestyksen pitää olla jatkuvasti kunnossa, ettei esim. purettujen rakenteiden tai työntekijöiden kaatumisia pääse tapahtumaan.	Päätoteuttaja	

Riskilomake

Sivu 2 / 8
Luottamuksellinen

RISKIENHALLINTASUUNNITELMA, TURVALLISUUS
E18 Turun kehätie
Vesa Virtanen, Antti Kärki, Jaana Kalliolaakso, Lauri Harjula, Mikko Erjo
24.8.2017

V luokka = vaatii välittömiä toimenpiteitä
IV luokka = toimenpiteet tässä suunnittelu-vaiheessa
III luokka = suunniteltava toimenpiteet myöhemmin toteutettavaksi
II luokka = seurataan

Rivikorkeus (ctrl+F2)

Nro	VAARA / ONGELMA / HÄIRIÖ	VAARATILANTEEN KUVAUS	Todennäköisyys	Vakavuus	TP-luokka	VARAUTUMINEN / TOIMENPIDE-EHDOTUS / SEURANTA	Vastuutaho	Päiväys
8	Maa-aineksen otto- ja ylijäämämaiden sijoitusalueet. Varattujen alueiden riittävyys	Maa-aineksien ja louheen läjityspaikkojen riittävyys ja soveltuvuus. Maa-ainesten läjitysalueita ei varata tiesuunnitelmassa riittävästi. Kustannusriski. Massojen kuljetuksissa olevat liikenneturvallisuusriskit. Mahdolliset sulfidisavet rajoittavat ylijäämämaiden sijoitusalueiden käyttöä ja tätä kautta kasvattaa kuljetusetäisyyksiä.	2	2	I	Läjitysmassojen tarkka arviointi. Varaläjitysalueiden etsintä. Massojen käyttö meluvalleihin ja maastonmuotoiluihin. Selvitetään ST-vaiheessa tarkasti urakoitsijan maansiirto-suunnitelmaan perustuen hankkeen ylijäämämassat ja ulko-puolisten massojen tarve. Päätoteuttajaa edellytetään selvittämään tarvittavat otto- ja läjitysalueet ennen tarjouksen jättämistä. Perehdytetään ajoneuvojen kuljettajat käyttämään turvallisinta reittiä ja huomioimaan mahdolliset vaarat.	Suunnittelija	
9	Maaperätietojen riittävyys huono ja oikeanaikainen saatavuus	Suunnittelualueella haastavat pohjaolosuhteet (savikko). Syvän savikon pysyminen erityisesti vt10 alikulkukäytäviä rakennettaessa. Alueella myös sulfidisavia. Sulfidissavien sjoittaminen vaatii erityisratkaisuita.	2	4	II	Olemassa oleva tutkimus-aineiston tarkastus ja täydennysohjelman teko heti työn alussa ja täydentäminen työn aikana tulleiden tarpeiden mukaan. Varataan maaperätutkimusten tekijäresurssit ajoissa Maaperätutkimukset tehty em. tavalla. Jatkossa tehdään tarvittavat täydennykset.	Suunnittelija, päätoteuttaja	
10	Littoistenjärven suoja-alueen huomiointi	Vesien johtaminen Littoistenjärveen johtaa saastumiseen. Hidasteet hankkeen toteutukselle.	2	2	I	Toimenpiteet Littoistenjärven suoja-alueen huomioimiseksi. Vesien johtaminen suunnitellaan.	Suunnittelija	
11	Liito-oravien esiintyminen alueella ja tarve poikkeusluvalle	Hankkeen viivästyminen, suunnitelman muutokset, mahdolliset lisäkustannukset.	2	3	II	Tarpeelliset toimenpiteet poikkeusluvan hankintaan	Tilaaja, suunnittelija	
12	Pilaantuneita maita ei ole tiedossa	PIMA kohteita voi löytyä rakantamisen aikana	2	3	II	Varautuminen	Päätoteuttaja	
13	Kallion laadun epävarmuustekijät	Kallion laatu poikkeaa tutkimustuloksista. Vaikuttaa hankkeen massatasapainoon ja kustannuksiin.	2	3	II	Tehdään riittävät tutkimukset kallioleikkauskohdilla	Tilaaja, suunnittelija, päätoteuttaja	
	1.4. Rakennushanketta edeltävät asiat							
14	Hankkeen rahoitusvaikeudet	Tiesuunnitelman kustannusarvio on 70 M€. Hanke toteutetaan kahdessa osassa. Saadun 30 M€ rahoituksen riittävyys ensimmäisen vaiheen toteutukseen, jolla saadaan tavoitellut vaikutukset. Toisaalta tavoitetilan pitäisi olla valmis 2030 mennessä, mutta kahdessa osassa toteutettuna kokonaiskustannukset saattavat nousta tiesuunnitelman kustannusarviosta merkittävästi.	3	4	III	Riittävän ajoissa suunnitellaan budjetin mukaiset ratkaisut. Lisärahoituksen hakeminen.	Tilaaja, suunnittelija	

RISKIENHALLINTASUUNNITELMA, TURVALLISUUS
E18 Turun kehätie
Vesa Virtanen, Antti Kärki, Jaana Kalliolaakso, Lauri Harjula, Mikko Erjo
24.8.2017

V luokka = vaatii välittömiä toimenpiteitä
IV luokka = toimenpiteet tässä suunnittelu-vaiheessa
III luokka = suunniteltava toimenpiteet myöhemmin toteutettavaksi
II luokka = seurataan

Rivikorkeus (ctrl+F2)

Nro	VAARA / ONGELMA / HÄIRIÖ	VAARATILANTEEN KUVAUS	Todennä-köisyys	Vakavuus	TP-luokka	VARAUTUMINEN / TOIMENPIDE-EHDOTUS / SEURANTA	Vastuutaho	Päiväys
15	Hanke ei saavuta yleistä hyväksyttävyyttä	Hanke viivästyy yleisen vastustuksen vuoksi. Tiesuunnitelmasta tehdyt muistutukset johtavat pitkään valitusprosessiin. Aikataulu-/kustannusriski	2	4	II	Yleinen mielipide on nykyisin positiivinen hankkeen kannalta. Julkinen tiedottaminen pitää olla aktiivista. Selvitetään heti mahdollisten muistutusten vaikutus työn käynnistämiseen. Nopea reagointi ylipäätään hanketta koskevaan keskusteluun. Vuorepuhelu maanomistajien kanssa suunnittelutyön aikana.	Tilaaja, suunnittelija	
16	Kaavat ja tiesuunnitelman ratkaisu ovat yhdenmukaiset. Viranomaisten käsittelyajat venyvät, (nähtävilläolo- ja lausuntoaikojen pidentyminen). Lupien saannin ongelmat: Ympäristöhäiriöitä (melu, tärinä, pöly) aiheuttaville töille ei saada lupia ajoissa	Lisääntyneet kustannukset, aikataulu viivästyy ja/tai osia jätetään toteuttamatta.	2	4	II	Yhteistyö ja keskustelut kunnan ja kaupungin kanssa hankkeen alusta lähtien. Riittävä kommunikointi Liikennevirasto, kunnan ja kaupungin kanssa. Suunnitelma valmistuu aikataulussa => riittävien henkilöresurssien varaaminen hankkeen viimeistelyyn. Tehdään tarvittavat lupa-asiakirjat mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ennen työmaan aloittamista.	Tilaaja, suunnittelija, päätoteuttaja	
17	Hankkeen kustannusarvion paikkansa pitävyys	Kustannusarvio ei ole ajantasalla.	1	5	III	Kustannusennusteen päivittäminen suunnittelun edetessä	Suunnittelija	
	1.5. Prosessi							
18	ST-tarjousvaiheen kilpailutus	Kilpailutusvaiheessa epäonnistutaan. Päätöksestä valitetaan ja toteutus viivästyy --> kustannukset nousevat. Kustannus-/aikataululiriski	2	4	II	Huolellinen hankkeen kilpailutusvaihe. Laaditaan asiakirjat siten, ettei epäselviä asioita jää urakoitsijoille.	Tilaaja	
	1.6. Hankkeen toteuttamnen							

RISKIENHALLINTASUUNNITELMA, TURVALLISUUS
E18 Turun kehätie
Vesa Virtanen, Antti Kärki, Jaana Kalliolaakso, Lauri Harjula, Mikko Erjo
24.8.2017

V luokka = vaatii välittömiä toimenpiteitä
IV luokka = toimenpiteet tässä suunnittelu-vaiheessa
III luokka = suunniteltava toimenpiteet myöhemmin toteutettavaksi
II luokka = seurataan

Rivikorkeus (ctrl+F2)

Nro	VAARA / ONGELMA / HÄIRIÖ	VAARATILANTEEN KUVAUS	Todennä-köisyys	Vakavuus	TP-luokka	VARAUTUMINEN / TOIMENPIDE-EHDOTUS / SEURANTA	Vastuutaho	Päiväys
	2. SUUNNITTELU							
	2.1. Lähtötiedot							
19	Hankkeen myöhästyminen, koska suunnittelu ei pysy aikataulussa.	Hankkeen suunnittelu ei pysy annetussa aikataulussa yllättävän tapahtuman vuoksi.	1	3	I	Aikataulu- ja resurssiseuranta.	Suunnittelija	
20	Melutorjuntaratkaisuiden riittävyys sekä toteutettavuus kohtuuttomine kustannusten välttämiseksi.	Hankeen alueella useita yksittäisiä kiinteistöjä melualueella osa kaava-alueella. Hankkeen viivästyminen (valitusprosessit jne.) ja mahdolliset	2	3	II	Tiivis vuorovaikutus viranomaisten sekä asukkaiden kanssa.	Tilaaja, suunnittelija	
	2.2. Tie- ja katusuunnittelu							
	2.3. Ratasuunnittelu							
21	Tunnin juna hankkeen sisältö	Hankkeen laajuudessa epäselvyyksiä (Piikkiön oikaisu). Vaikuttaa viheryhteyden toteutettavuuteen. Suuret vaikutukset aikatauluun.	1	4	II	Vuoropuhelu Liikenneviraston kanssa.	Tilaaja, suunnittelija	
	2.4. Geosuunnittelu							
	2.5. Siltasuunnittelu							
	2.6. Liikennesuunnittelu							
	2.7. Asemien suunnittelu							
	2.8. Kalliosuunnittelu							
	=PÄÄSIVU!B24 Turvalaite- ja sähköratasuunnittelu							
	2.10. Muut suunnitteluun liittyvät							
22	Suunnitelmien yhteensovitus	Eri suunniteluosa-alueiden yhteensivtuksessa tulee päällekkäisyyksiä / virheitä. Korjaaminen vaikuttaa aikatauluun.	1	3	I	Osa-alueiden riittävä itselleluovutus sekä rakenteiden törmäystarkastelut	Suunnittelija	
	3. LIIKENNE							
	3.1. Tieliikenne							
23	Liikenne työmaalla ja työmaan läheisyydessä runsasta. Nopeusrajoitukset, työmaan erottaminen liikenteestä (tieliikenteen riskikuljettajat)	Liikenneturvallisuus vaarantuu ja liikenteen sujuminen vaikeutuu. Työmaa-alueella tapahtuu liikenneonnettomuus tai työtapaturma, ylinopeudet kasvattavat riskiä. Väylä on ruuhkainen - mm. pelastushenkilökunta ei pääse nopeasti onnettomuuspaikalle.	4	3	III	Riittävät, sujuvat ja turvalliset työnaikaiset liikennejärjestelyt. Yhteistyöpalaveri urakoitsijan, tilaajan, poliisin ja pelastusviranomaisten kanssa. Selvitetään pelastustoimet sekä mahdollisesti Medihelin laskeutumispaikka (yhteistyössä pelastusviranomaisten kanssa).	Päätoteuttaja	
24	Erikoiskuljetukset ja VAK	Erikoiskuljetuksia ei ole huomioitu työnaikaisissa liikenteenjärjestelysuunnitelmissa. Kuljetukset estyvät tai tierakenteet sortuvat.	1	3	I	Päätoteuttaja huomioi erikoiskuljetukset työnaikaisissa liikenteenjärjestelysuunnitelmissa. Rakennuttaja tarkastaa huolellisesti urakoitsijan liikenteenjärjestelysuunnitelmat.	Päätoteuttaja	

RISKIENHALLINTASUUNNITELMA, TURVALLISUUS
E18 Turun kehätie
Vesa Virtanen, Antti Kärki, Jaana Kalliolaakso, Lauri Harjula, Mikko Erjo
24.8.2017

V luokka = vaatii välittömiä toimenpiteitä
IV luokka = toimenpiteet tässä suunnittelu-vaiheessa
III luokka = suunniteltava toimenpiteet myöhemmin toteutettavaksi
II luokka = seurataan

Rivikorkeus (ctrl+F2)

Nro	VAARA / ONGELMA / HÄIRIÖ	VAARATILANTEEN KUVAUS	Todennä-köisyys	Vakavuus	TP-luokka	VARAUTUMINEN / TOIMENPIDE-EHDOTUS / SEURANTA	Vastuutaho	Päiväys
25	Raskaan liikenteen kierto Turun keskustan kautta	Kehätien työmaan seurauksena raskas liikenne hakeutuu Turun keskustaan.	3	3	III	Työnaiaksiet liikenenjärjestelyt suunnitellaan ja ajastetaan sekä työmaaopastukseen kiinnitetään erityistä huomiota. Varaudutaan etukäteen mahdollisiin ongelmiin.	Päätoteuttaja	
	3.2. Rautatieliikenne							
	3.3. Kevyt liikenne							
26	Jalankulku- ja pyöräliikenne	Kevyt liikenne merkittävää vt10:llä, kevyen liikenteen ohjaaminen työalueella.	2	3	II	Erityshuomiota liikenteenohjaukseen ja tiedottamiseen. Työmaa-alueen rajaaminen ja työnaikaisten väylien kunnossapito.	Päätoteuttaja	
	3.4. Vesiliikenne							
	3.5. Ilmailuliikenne							
	3.6. Tietoliikenne							
27	Tietoliikenneyhteydet ja -verkot	Kohteessa kaapeleita ja johtoja Tietoliikenneyhteyksien katkeaminen johtosiirtojen tai johtojen vaurioitumisen vuoksi.	2	2	I	Huolehditaan johtojen sijainnin selvittämisestä ja merkitsemisestä. Mahdolliseen johtosiirtoon liittyvään tietoliikennekatkoon varautuminen.	Päätoteuttaja	

RISKIENHALLINTASUUNNITELMA, TURVALLISUUS
E18 Turun kehätie
Vesa Virtanen, Antti Kärki, Jaana Kalliolaakso, Lauri Harjula, Mikko Erjo
24.8.2017

V luokka = vaatii välittömiä toimenpiteitä
IV luokka = toimenpiteet tässä suunnittelualheessa
III luokka = suunniteltava toimenpiteet myöhemmin toteutettavaksi
II luokka = seurataan

Rivikorkeus (ctrl+F2)

Nro	VAARA / ONGELMA / HÄIRIÖ	VAARATILANTEEN KUVAUS	Todennäköisyys	Vakavuus	TP-luokka	VARAUTUMINEN / TOIMENPIDE-EHDOTUS / SEURANTA	Vastuutaho	Päiväys
	4. VAARALLISET TYÖT							
	4.1. Kaivutyöt							
28	Kaivannot liikenteen läheisyydessä	Sortumavaara, suistumisriski	1	3	I	Huolellinen turvallisuussuunnittelu, ohjeiden mukainen rakentaminen, työnaikainen valvonta	Päätoteuttaja	
	4.2. Korkealla työskentely							
29	Tuki-ja työnaikaiset telineet (asennus ja purku, sillat)	Telineiden asennuksen tai purun yhteydessä tapahtuva putoaminen.	1	4	II	Työturvallisuuskoulutukset ja -käytännöt. Turvallisuussuunnitelma.	Päätoteuttaja	
	4.3. Sähkötapaturmavaaralliset työt							
30	Suurjännitejohdot	Sähköiskun vaara, työalueella 110 kV, 20 kV ja 0,4 kV johtoja. Sähkötapaturma.	1	4	II	Ohjeiden ja suunnitelmien mukaiset työjärjestelyt	Päätoteuttaja	
	4.4. Kemiallisiin tai biologisiin aineisiin liittyvät työt							
	4.5. Hukkumisvaaralliset työt							
31	Työskentely vesistösilloilla	Hukkuminen	2	2	I	Huolellinen turvallisuussuunnittelu, ohjeiden mukainen työskentely, työnaikainen valvonta	Päätoteuttaja	
	4.6. Tunnelityöt							
	4.7. Räjäytys- ja louhintatyöt							
32	Liikenne, rakennukset, rakenteet, henkilöt louhintatyömaan läheisyydessä	Sortuma, kiven sinkoutuminen asutullealueelle tai liikenteen sekaan.	1	4	II	Huolellinen turvallisuussunnittelu ja valvonta	Päätoteuttaja	
	4.8. Nostot							
33	Nostot tieliikenteen lähellä	Siltoihin liittyvät työt Henkilö- ja omaisuusvahinkoja	1	3	I	Huolellinen työnsuunnittelu. Varmistetaan pohjaolosuhteet.	Päätoteuttaja	
	4.9. Purkutyöt							
	4.10. Pilaantuneisiin maihin liittyvät työt							
	4.11. Työt tie-, katu- tai rautatiealueella							
34	Työmaan erottaminen liikenteestä (tieliikenteen riskikuljettajat)	Uusi ajorata rakennetaan vanhan viereen. Työmaaliikenne ja muu liikenne sekoittuvat ja syntyy vaaratilanteita.	3	2	II	Ohjeiden mukaiset liikennejärjestelyt. Erityshuomiota liikenteenohjaukseen ja tiedottamiseen.	Päätoteuttaja	
	4.12. Muut työt							

RISKIENHALLINTASUUNNITELMA, TURVALLISUUS
E18 Turun kehätie
Vesa Virtanen, Antti Kärki, Jaana Kalliolaakso, Lauri Harjula, Mikko Erjo
24.8.2017

V luokka = vaatii välittömiä toimenpiteitä
IV luokka = toimenpiteet tässä suunnittelualheessa
III luokka = suunniteltava toimenpiteet myöhemmin toteutettavaksi
II luokka = seurataan

Copyright © Finnmap Infra Oy 2017

Rivikorkeus (ctrl+F2)

Nro	VAARA / ONGELMA / HÄIRIÖ	VAARATILANTEEN KUVAUS	Todennäköisyys	Vakavuus	TP-luokka	VARAUTUMINEN / TOIMENPIDE-EHDOTUS / SEURANTA	Vastuutaho	Päiväys
	5. MUUT TOIMINNOT							
	5.1. Työnaikainen hoito ja ylläpito							
35	Töiden yhteensovitus (turvallisuussäännöt)	Päällekkäiset työt samalla alueella	2	3	II	Urakoitsijan esitettävä selkeät työsuunnitelmat töiden yhteensovittamisesta	Päätoteuttaja	
	5.2. Vaaralliset rakenteet ja laitteet							
	5.3. Muita vaaroja aiheuttavia toimintoja							
	5.4. Ympäristö ja vuorovaikutus							
	6. YMPÄRISTÖ							
	6.1. Ihmisten elinolot, viihtyvyys, terveys ja turvallisuus							
	6.2. Melu							
36	Melu (liikennemelu, työkoneiden äänet, räjäytystyöt, paalutus)	Altistuminen melulle. Kuulovauriot	3	1	I	Urakoitsijan tulee huolehtia työntekijöiden turvavarustuksesta/suojaamisesta. Kuulosuojaimet	Päätoteuttaja	
	6.3. Tärinä							
	6.4. Maaperä							
	6.5. Pinta- ja pohjavedet							
37	Pohjavesitietojen vaikutukset suunnitteluratkaisuihin	Alittavan tien leikkaus sijaitsee pohjaveden pinnan alapuolella tai paineellisessa pohjavedessä. Rakentamisella negatiivista vaikutusta rakentamiseen. Pohjavedenpinnan nousu saattaa vaikeuttaa rakentamista.	2	3	II	Tarkistetaan pv-putket juuri ennen rakentamista. Tarvittaessa yhteys suunnittelijaan. Tarvittaessa toteutetaan pv-suojaus alikulkuun.	Suunnittelija, päätoteuttaja	
	6.6. Maisema ja kulttuuriympäristö							
38	Muinaismuistojen löytyminen rakentamisen aikana.	Toimenpiteiden ja vastuiden selvittäminen voi viivästyttää rakentamisen valmistumista	3	2	II	Vuoropuhelu Museoviraston kanssa	Päätoteuttaja	
39	Aurajoen maisema- ja kulttuuriympäristön huomiointi	Tie- ja liikennejärjestelyt voimassa olevan kaavan mukaiset.	2	2	I	Tiejärjestelyjen osalta käytävä vuoropuhelua tiesuunnitelman aikana. Huolehdittava myös, ettei toteutuksen aikana maisema-alueelle toteuteta maa-ainesten sijoitusta tai työmaatoimistoalueita ym.	Tilaaja, suunnittelija, päätoteuttaja	
	6.7. Luonto ja luontoarvot							
40	Uhanalaisten tai suojeltujen eläinten / lajien (esim. liito-orava) uusien esiintymisalueiden löytyminen	Liito-oravia, vesistöjen harvinainen eläimistö (verrattuna luontoselvityksessä löydettyihin lajeihin)	2	2	I	Työnaikainen seuranta	Päätoteuttaja	
	6.8. Ilmasto							
	7. KÄYTTÖÖNOTTO							
	7.1. Tieliikenne							

RISKIENHALLINTASUUNNITELMA, TURVALLISUUS
E18 Turun kehätie
Vesa Virtanen, Antti Kärki, Jaana Kalliolaakso, Lauri Harjula, Mikko Erjo
24.8.2017

V luokka = vaatii välittömiä toimenpiteitä
IV luokka = toimenpiteet tässä suunnittelualheessa
III luokka = suunniteltava toimenpiteet myöhemmin toteutettavaksi
II luokka = seurataan

Copyright © Finnmap Infra Oy 2017

Rivikorkeus (ctrl+F2)

Nro	VAARA / ONGELMA / HÄIRIÖ	VAARATILANTEEN KUVAUS	Todennäköisyys	Vakavuus	TP-luokka	VARAUTUMINEN / TOIMENPIDE-EHDOTUS / SEURANTA	Vastuutaho	Päiväys
41	Muuttuneet liittymäjärjestelyt (kanavointi, opasteet, uudet liikennevalot)	Tienkäyttäjät eivät osaa kulkea uusien liittymäjärjestelyiden mukaan esim. kaistanvaihdot, rampeilta poistuminen ja nopeusrajoitusten noudattamattomuus.	2	2	I	Tiedottaminen ja valvonta.	Päätoteuttaja	